

**ESEIAAT**

Trabajo de Final de Grado



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Fecha de entrega: 10 de septiembre de 2.018

Estudiante: Carlos Aguado

Directora: Crina Cojocaru

Codirector: Ramón Vilaseca

# Índice

|   |    |
|---|----|
| 1. Objetivo .....   | 1  |
| 2. Alcance .....  | 1  |
| 3. Especificaciones básicas .....   | 1  |
| 4. Justificación .....  | 1  |
| 5. El láser y sus características de su radiación .....                                   | 3  |
| 5.1 Ecuaciones de Maxwell .....   | 3  |
| 5.2 El láser y sus características .....  | 5  |
| 5.3 Tipos de láser.....   | 8  |
| 5.4 Haces Gaussianos .....  | 11 |
| 5.5 Ángulo de divergencia y factor $M^2$ .....  | 14 |
| 5.6 Efecto de lentes en rayos Gaussianos .....  | 15 |
| 6. Métodos para la caracterización del perfil transversal de un haz láser.....            | 18 |
| 6.1 La técnica Knife-Edge .....   | 18 |
| 6.2 Aplicación del Knife-Edge en un láser de Helio-Neón .....                             | 21 |
| 6.3 Cámara CCD.....   | 25 |
| 6.4 Láser de Semiconductor con cámara CCD.....  | 26 |
| 7. Medida del perfil del haz utilizando una fibra óptica .....                            | 31 |
| 7.1 Descripción del método .....  | 31 |
| 7.2 Automatización .....  | 33 |
| 7.3 Implementación del sistema automatizado para la medida del láser de helio y neón .... | 40 |
| 7.4 Sistema automático en el láser de semiconductor .....                                 | 45 |
| 8. Conclusiones y continuidad.....  | 55 |
| 9. Bibliografía .....   | 57 |

# Figuras

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1: Esquema básico de un láser .....  | 5  |
| Ilustración 2: Ejemplos gráficos de la absorción y la emisión espontánea .....                                       | 6  |
| Ilustración 3: Resumen gráfico de los procesos fotónicos .....   | 6  |
| Ilustración 4: Esquema de los niveles de transición y auxiliares.....  | 7  |
| Ilustración 5: Espectro electromagnético de luz según longitud de onda .....   | 8  |
| Ilustración 6: Perfil Gaussiano en diferentes vistas .....   | 9  |
| Ilustración 7: Perfil Top Hat.....   | 10 |
| Ilustración 8: Perfil de un láser de semiconductor en 3D .....   | 10 |
| Ilustración 9: Representación y parámetros característicos de un haz Gaussiano.....                                  | 13 |
| Ilustración 10: Perfil Gaussiano visto desde un plano zx .....   | 13 |
| Ilustración 11: Lente plana-convexa .....  | 16 |
| Ilustración 12: Representación de las zonas focalizadas antes y después de una lente .....                           | 17 |
| Ilustración 13: Esquema del montaje Knife-Edge .....   | 18 |
| Ilustración 14: Esquema de la metodología teórica de la técnica Knife-Edge .....                                     | 20 |
| Ilustración 15: Esquema gráfico del montaje Knife-Edge .....   | 21 |
| Ilustración 16: Cámara CCD.....  | 25 |
| Ilustración 17: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano anterior a<br>sección mínima.....       | 27 |
| Ilustración 18: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano en la zona<br>focalizada .....          | 27 |
| Ilustración 19: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano posterior a la<br>zona focalizada ..... | 28 |
| Ilustración 20: Movimiento y posición esquemáticos de la fibra óptica .....  | 31 |
| Ilustración 21: Barrido en los ejes de un plano transversal del láser de semiconductor.....                          | 32 |
| Ilustración 22: Ejemplos del diagrama de bloques y el panel frontal respectivamente .....                            | 35 |
| Ilustración 23: Fibra óptica y motor Pollux en el laboratorio .....  | 36 |
| Ilustración 24: Potenciómetro usado en los ensayos .....   | 37 |
| Ilustración 25: Subrutina para el método de cálculo del $D4\sigma$ .....   | 39 |
| Ilustración 26: Subrutina para el cálculo por el método integral.....  | 39 |
| Ilustración 27: Resultados ensayo He-Ne (labview).....   | 40 |
| Ilustración 28: Montaje completo de periféricos.....   | 45 |
| Ilustración 29: Resultados del primer ensayo en el láser de semiconductor (labview).....                             | 47 |
| Ilustración 30: Resultados del segundo ensayo (labview) .....  | 50 |
| Ilustración 31: Resultados del tercer ensayo (labview) .....   | 53 |

# Gráficos

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1: Parábola de los radios de los planos transversales .....                    | 22 |
| Gráfico 2: Zona Lineal del gráfico 1 .....   | 23 |
| Gráfico 3: Curvas de los radios de secciones transversales .....                       | 28 |
| Gráfico 4: Resultado del ensayo de la medida en el láser de He-Ne .....                | 42 |
| Gráfico 5: Resultado de los ensayos en el láser de He-Ne para otro plano distinto..... | 43 |
| Gráfico 6: Resultados del primer ensayo del láser de semiconductor.....                | 46 |
| Gráfico 7: Filtrado de los datos obtenidos del primer ensayo .....                     | 48 |
| Gráfico 8: Resultados del segundo ensayo en el láser de semiconductor.....             | 49 |
| Gráfico 9: Filtrado de datos del segundo ensayo.....                                   | 51 |
| Gráfico 10: Resultados del tercer ensayo en el láser de semiconductor .....            | 52 |
| Gráfico 11: Filtrado del tercer ensayo.....  | 54 |





## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

### **1. Objetivo**

El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar, automatizar e implementar un método para la caracterización de perfiles espaciales de haces de luz, emitidos por láseres de diodo de alta potencia. Mediante medidas experimentales obtendremos parámetros que nos permitirán, después de procesarlos mediante métodos numéricos, calcular parámetros específicos del haz que permiten su caracterización y clasificación.

### **2. Alcance**

En este estudio se contemplarán unos conocimientos básicos sobre la fotónica (la ciencia de la luz) necesarios para entrar en el campo de los láseres y sus aplicaciones. Se pretende entender y explicar la necesidad e importancia de la caracterización espacial del perfil del haz de luz emitido por un láser. En la primera parte, el estudio expondrá las técnicas que se emplean habitualmente para determinados tipos de láseres, sus ventajas e inconvenientes. Después se presentará la modificación que se llevará a cabo en este trabajo para poder tratar el tema de la caracterización del haz en láseres de semiconductor de alta potencia, así como su automatización. Posteriormente se presentarán los resultados experimentales obtenidos y los cálculos necesarios para su procesado y representación. Finalmente, se concluirán los resultados obtenidos.

### **3. Especificaciones básicas**

Con este estudio, se busca desarrollar, automatizar y poner en práctica un sistema experimental automatizado, que permita caracterizar la distribución espacial de haces emitidos por láseres de diodo de alta potencia donde otros métodos existentes no se pueden aplicar debido a la excesiva potencia y complejidad espacial de los perfiles.

### **4. Justificación**

En los últimos años la implementación de las tecnologías fotónicas en el sector industrial ha crecido de forma exponencial. Actualmente, la fotónica es indispensable para el desarrollo de tecnologías modernas, tales como el procesado de materiales, nanotecnología, sensores ópticos, tecnologías biomédica...Dentro de estas tecnologías,



## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

el láser es el elemento clave gracias a las propiedades únicas de la luz que emite: monocromaticidad, direccionalidad, precisión de focalización, energía y potencia.

En cualquier mercado, siempre encontraremos distintas soluciones para las actuales necesidades. En muchas ocasiones, impera aquella que sea de fácil producción, implementación y de bajo coste. Por este motivo, en el campo de las aplicaciones del láser se prefiere el uso de los láseres de semiconductor o láseres de diodo, que son pequeños y económicos, pudiéndose implementar en diversos campos tales como la fabricación industrial, sensores, medicina o la investigación.

Los láseres se caracterizan en general por su longitud de onda, su funcionamiento en régimen continuo o pulsado y por su energía, potencia e intensidad. Sin embargo, no siempre se tiene en cuenta la distribución espacial de la intensidad del haz. Esta distribución define la calidad óptica del haz, que, en algunas aplicaciones se necesita que sea la mejor posible. Para el caso del láser de semiconductor, sobre todo los de alta potencia, la calidad espacial de su haz no es muy buena y no puede competir con otros tipos de láseres. Por estas razones, existe una necesidad de mejorar la calidad del haz de los láseres de semiconductor de alta potencia. Para poder llegar al resultado final, en primer lugar tenemos que poder caracterizar muy bien el perfil espacial emitido. Actualmente se aplican diferentes métodos que permiten la caracterización de los láseres de baja potencia, pero que tienen importantes limitaciones cuando se aplican a los láseres de alta potencia.

Este estudio se centra en la medida del perfil espacial de un láser de semiconductor de alta potencia y la obtención de los parámetros característicos que permiten su caracterización. Los resultados obtenidos se podrán aplicar en el futuro a la mejora de la calidad del haz, pero esta parte queda fuera del alcance de este proyecto.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 5. El láser y sus características de su radiación

#### 5.1 Ecuaciones de Maxwell

El objetivo de este apartado consiste en realizar un breve recordatorio sobre las leyes fundamentales del electromagnetismo, para de esta forma, introducirnos en el campo de la fotónica.

Partimos de las cuatro ecuaciones básicas del electromagnetismo, considerando que nos encontramos en el vacío, las cuales son:

- Ley de Gauss: El flujo del campo eléctrico a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga de valor  $Q$  contenida dentro de esta, dividida por la permisividad eléctrica en el vacío.[1]

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = Q/\epsilon_0 \quad (1)$$

Podemos interpretar que el flujo es una medida del número de líneas de campo que atraviesan una superficie. Cuando se trata de una carga puntual y está confinada en una superficie cerrada, el valor se mantiene constante.

- Ley de Gauss para campo magnético: El flujo creado por un campo magnético siempre es cerrado ya que no existen fuentes o sumideros por separado que emitan o absorban líneas de campo magnético.[1]

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2)$$

A diferencia del campo eléctrico, la ley de Gauss para campo magnético determina que una fuente que genere un campo magnético y se encuentre encerrada en una superficie, el recuento total de líneas de campo entrantes y salientes será cero.

- Ley de Faraday: La tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez de cambio con el tiempo y flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito alrededor. [2]

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (3)$$

De aquí podemos concluir que la existencia de un campo magnético dependiente del tiempo, implica la existencia de un campo eléctrico explicando así la existencia simultánea de ambas.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

- Ley de Ampere-Maxwell: Para cualquier circuito de bucle cerrado, la suma de los elementos de longitud multiplicada por el campo magnético en la dirección de esos elementos, es igual a la permeabilidad multiplicada por la corriente eléctrica encerrada en ese bucle. [3]

$$\oint \vec{B} * d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} * d\vec{s} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} * d\vec{s} \quad (4)$$

Entendemos pues que ahora es posible calcular un campo magnético, conocida la densidad de corriente y la variación con el tiempo de un campo eléctrico.

La forma integral de estas ecuaciones puede presentarse de forma diferencial, que a nivel de análisis son más complejas pero permiten describir por completo las líneas de corriente si se logran resolver, y a su vez dan paso a la ecuación general de las ondas electromagnéticas, por lo tanto, tenemos sus formas diferenciales así:

- Ley de Gauss:  $\vec{\nabla} * \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$  (5)

- Ley de Gauss para el campo magnético:  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$  (6)

- Ley de Faraday:  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$  (7)

- Ley de Ampere:  $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$  (8)

A partir de este punto, se pueden obtener ecuaciones que corresponden a ondas, para el campo eléctrico y magnético. [4]

La ecuación de onda para el campo eléctrico:

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0 \quad (9)$$

Y la ecuación de onda para el campo magnético:

$$\nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2} = 0 \quad (10)$$

Se puede apreciar que en ambas aparece el valor  $c^2$ , el cual en realidad es representable mediante las constantes  $\epsilon_0$  y  $\mu_0$  por lo tanto  $c$  es como:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 * \epsilon_0}} \quad (11)$$



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Es aquí donde se demuestra que la  $c$  corresponde a la velocidad de la luz o fotones en el vacío. Es entonces que a partir de la ecuación de onda del campo eléctrico, podemos introducirnos en las ecuaciones básicas de los láseres.

### 5.2 El láser y sus características

Láser es un acrónimo que significa: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, es decir, es un mecanismo especial de emisión de luz que consiste en combinar la emisión estimulada y la amplificación de radiación. [5]

Para poder lograr producir un haz láser, se hacen necesarios tres elementos básicos: un medio activo, un mecanismo que pueda aportar energía denominado sistema de bombeo y una cavidad resonante para amplificar radiación.

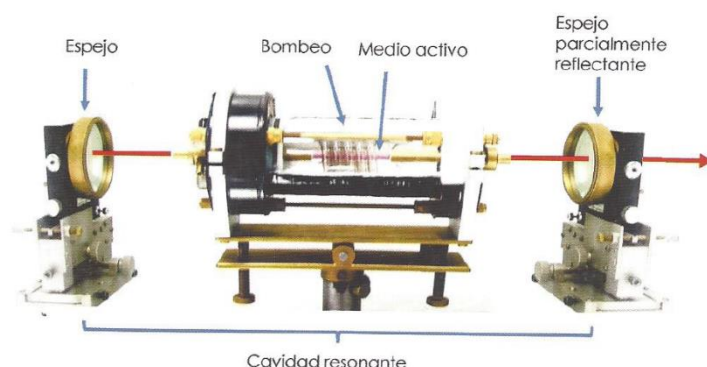


Ilustración 1: Esquema básico de un láser [6]

En primer lugar tenemos el medio activo, el componente principal que se utiliza para crear la luz. Los electrones se desplazan alrededor de su núcleo, estos giran alrededor formando órbitas como los planetas lo hacen alrededor del sol. Cada órbita representa un estado de energía, por lo tanto cuantas más órbitas más estados de energía presenta el átomo.

Reconocemos la primera órbita como fundamental, donde podríamos considerar que a nivel energético el átomo se encuentra estable. Para poder llegar a niveles superiores es necesario la obtención de energía mediante fotones, mientras que al descender a una órbita inferior se libera energía. Describimos entonces el proceso de absorción como aquel donde un átomo absorbe energía y su electrón puede desplazarse a una órbita superior. Por el contrario, definimos como emisión espontánea la liberación de energía cuando un electrón desciende de nivel, liberando un fotón durante el proceso.

## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

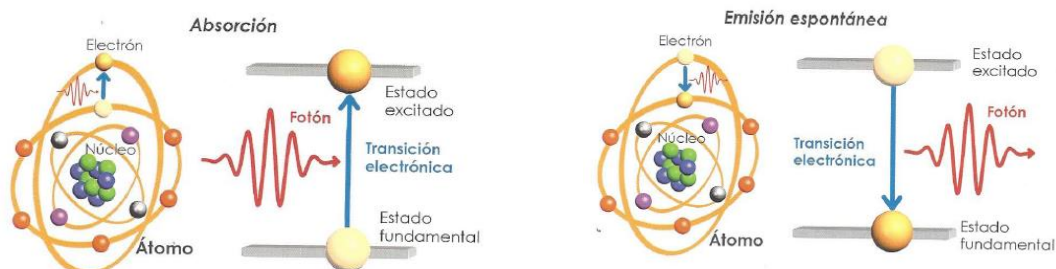


Ilustración 2: Ejemplos gráficos de la absorción y la emisión espontánea

Además de los dos procesos descritos anteriormente, existe un tercer proceso conocido como emisión estimulada. En este caso, mediante energía (un fotón), forzamos al electrón a realizar el descenso, generando así dos fotones. Al existir muchos átomos en las mismas condiciones, podemos generar una reacción en cadena, que estimulará aún más la emisión en otros átomos excitados del medio.

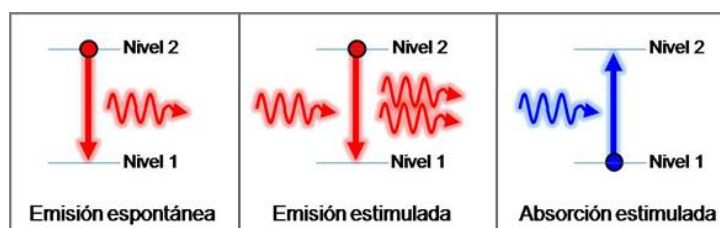


Ilustración 3: Resumen gráfico de los procesos fotónicos

Todo aquello compuesto por átomos dispone de una fracción de ellos en su estado fundamental, y otra generalmente en menor proporción en el estado excitado. La inversión de población es el fenómeno descubierto por Albert Einstein donde la proporción de átomos excitados supera a los no excitados. Fenómeno fundamental para la ciencia fotónica ya que la inversión de población es lo que permite que se cree un haz de luz láser.

El sistema de bombeo, es el que proporciona la energía necesaria para que sea posible comenzar con la reacción en cadena que se da en el medio activo. Debido a múltiples pérdidas de energía en todos los procesos involucrados, la potencia de bombeo siempre será mayor que la potencia de la propia emisión láser.

Para poder mantener mayor la fracción de átomos excitados que la de átomos en estado estable, es necesario ir aportando constantemente energía, de esta forma es posible sostener la inversión de población. Distinguíamos entre dos niveles, el fundamental y el excitado, pero la transición electrónica se lleva a cabo hasta en cuatro niveles. La generación de fotones se produce en los dos intermedios mientras que los otros dos son





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

auxiliares. El bombeo se realiza excitando electrones desde el nivel fundamental hasta el nivel superior desde el que decaen rápidamente al nivel intermedio. La utilidad de los niveles auxiliares radica en que ofrecen unas transiciones extremadamente rápidas en comparación a las transiciones que se dan en los niveles intermedios, favoreciendo así la inversión de población.

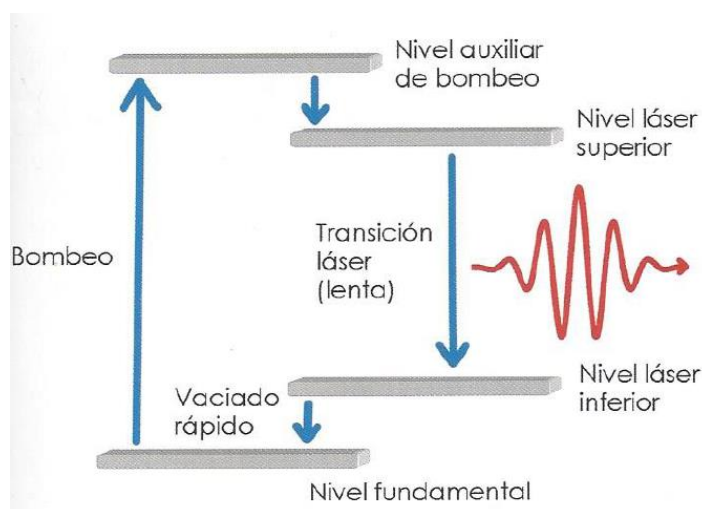


Ilustración 2: Esquema de los niveles de transición y auxiliares

Por último, tenemos la cavidad resonante, está formada por dos espejos, uno de ellos totalmente reflejante y el segundo solo parcialmente. Con el primero buscaremos retroalimentar el sistema, dicho de otra forma, los procesos de absorción y emisión se darán de forma continuada gracias a que los fotones que inciden en este espejo se reflejarán. Por otro lado, el objetivo de un láser es emitir luz de forma focalizada y bajo un rango pequeño espectral y para lograrlo se emplea el segundo espejo. Este al ser parcialmente reflejante permite ajustar el sistema de tal forma que se emita de forma concentrada y bajo un rango muy pequeño de longitud de onda.

Es posible definir tres características que definen las luces láser, las cuales son:

- **Monocromática:** La radiación emitida tiene un rango de longitudes de onda (o frecuencias) muy estrecho. Existen diferentes colores que corresponden a diferentes rayos láser, su diferencia de tonalidad corresponde a la longitud de onda que las caracteriza.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

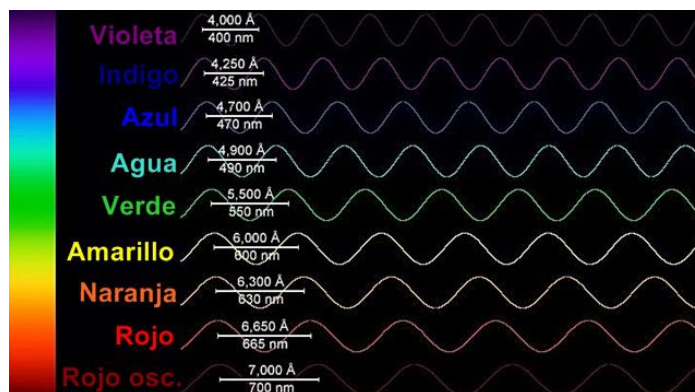


Ilustración 3: Espectro electromagnético de luz según longitud de onda

- **Colimada:** Únicamente se amplifica la luz emitida en la dirección del eje de la cavidad resonante, lo que hace que la luz generada sea muy direccional. Se trata de una propiedad muy importante ya que muchas de las aplicaciones láser buscan concentrar la luz en un punto o en una dirección mostrando la menor divergencia posible.
- **Coherente:** La fase de la onda electromagnética resultante del láser no varía de forma aleatoria como sí lo hace la luz natural. Esto es debido a que durante el proceso de emisión estimulada, los fotones resultantes son idénticos a los anteriores contribuyendo de forma equitativa a la fase del campo electromagnético.

### 5.3 Tipos de láser

Los láseres se pueden clasificar en distintos grupos. Una forma eficiente de mostrar los distintos tipos de láseres es agruparlos según su medio activo. Los grupos a destacar son: gas, líquido, sólido y semiconductor.

- Los láseres de gas, son los que utilizan, como su clasificación indica, un gas como medio activo para generar un haz de luz. Dentro de este grupo podemos diferenciar los que utilizan átomos, como sería el láser de helio-neón el cual tendrá relevancia más adelante, iones como el láser de iones de argón y por último el de moléculas que puede ser de dióxido de carbono.
- En segundo lugar tenemos los que utilizan un medio líquido, donde no entraremos mucho en detalle, como el láser de Rhodamin 6G.
- Por otro lado tenemos los láseres de estado sólido, algunos importantes dentro de este grupo pueden ser los que están hechos de cristal dopado, como el de rubí (si recordamos fue el primer láser) o bien el de Nd:Yag.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

- Por último, tenemos el grupo de los láseres de semiconductor, donde algunos ejemplos son AlGaAs o GaInP. La importancia de los láseres con este medio activo reside en que a pesar de que quizás no puedan desarrollar un haz con una calidad igual o superior a otros como los de gas o estado sólido, su rendimiento global es más alto, eso junto a que su producción es más económica, es por ello que se trata en este trabajo de caracterizar un perfil de láser de semiconductor.

Una forma alternativa de clasificar los láseres es según su perfil transversal. Consiste en una representación gráfica del perfil del campo electromagnético en el plano transversal a la dirección de propagación. No existe un perfil único para todos los láseres, algunos de ellos más conocidos o con una distribución más sencilla para llevar a cabo un estudio.

Algunos ejemplos de perfiles que veremos a continuación mediante una cámara CCD, la cual explicaremos en detalle más adelante, son:

- Perfil Gaussiano: Se caracteriza por tener una distribución de intensidad muy parecida a una campana de Gauss.
- Perfil Top Hat: Denominado así porque dispone una distribución parecida a la campana de Gauss pero adquiriendo una forma más cuadrada, pareciéndose a un sombrero.
- Perfil de semiconductor: En este caso no existe una forma predeterminada que pueda aplicarse en todos los láseres de semiconductor, siendo esta irregular en todas sus zonas.

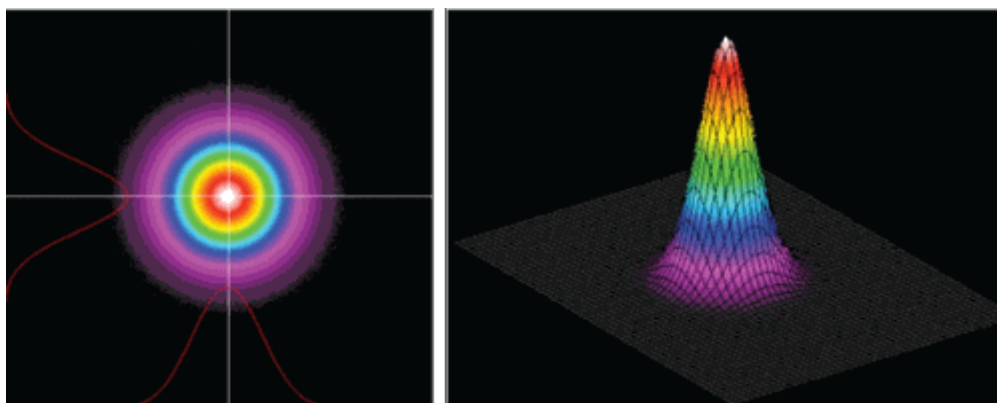


Ilustración 4: Perfil Gaussiano en diferentes vistas



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Esta imagen describe en 3D como se vería un perfil Gaussiano. En la imagen de la izquierda vemos como se vería el perfil visto desde planta por colores. Aquellos colores más apagados corresponden a las zonas más alejadas al centro, las cuales corresponden a las de menos potencia. Mientras que a medida que nos acercamos al centro, la cantidad de energía aumenta y los colores adquieren un tono más visto.

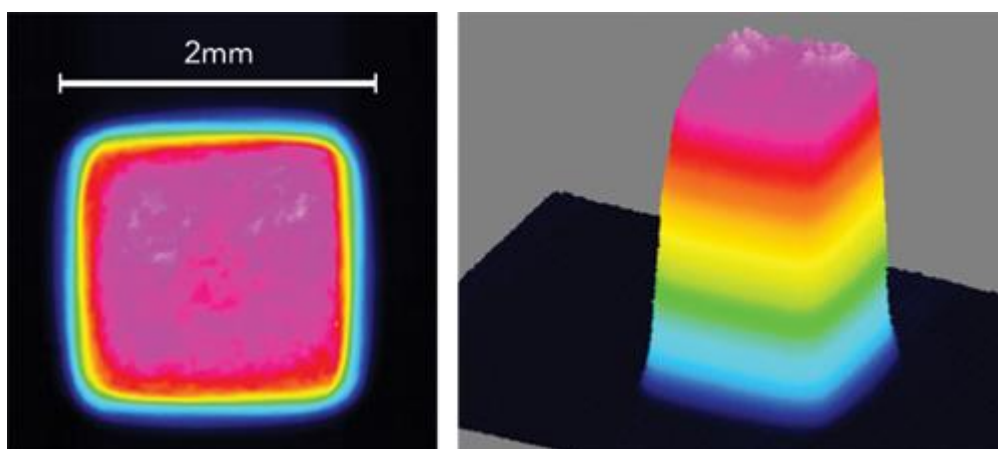


Ilustración 5: Perfil Top Hat

Aquí mostramos de nuevo en 3D, otro tipo de perfil, característico en láseres como por ejemplo el de estado sólido Nd:Yag. Al igual que el perfil Gaussiano, se puede observar que en los límites exteriores del perfil la potencia es más baja, mientras que a medida que nos adentramos en el interior, esta aumenta.

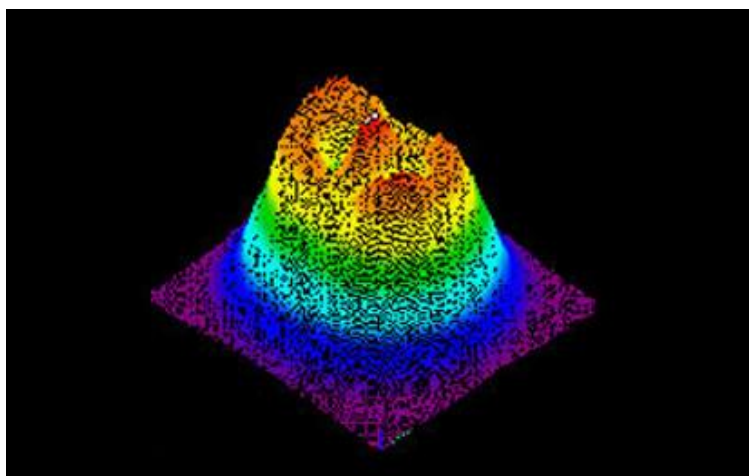


Ilustración 6: Perfil de un láser de semiconductor en 3D



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

En esta figura apreciamos el 3D de un láser de semiconductor. Aquí ya no existe una uniformidad como sí hemos visto en los anteriores perfiles. En esta ocasión obtenemos un perfil irregular geoméricamente hablando, lo cual se traduce en un mayor grado de dificultad cuando queremos caracterizar un perfil de este tipo.

El aspecto a recalcar en este apartado es el hecho que al igual que existen varios medios activos, también hay distintos perfiles espaciales. La técnica del Knife-Edge que se explica en un apartado posterior, se basa en el conocimiento del perfil que se tiene del láser, ya que se toman unas medidas particulares y luego se realizan los cálculos oportunos. Sin embargo, cuando el perfil no es conocido y puesto que existen distintos tipos de perfil resulta necesario un método que permita obtener el perfil completo, ya que cuando este no se conoce se hace muy difícil comprender su funcionamiento.

### 5.4 Haces Gaussianos

La ecuación de onda (9) da lugar a distintas soluciones denominadas funciones de onda y dependen de las coordenadas espaciales y del tiempo. Dependiendo del tipo de fuente de luz utilizado y de las aproximaciones que se pueden aplicar en cada caso, la radiación electromagnética se puede describir a través de funciones de onda plana, esférica o Gaussiana.

La función de onda plana, que a su vez es monocromática y unidireccional, depende del tiempo y además, de uno de los tres vectores espaciales. Dicha función es:

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \quad (12)$$

Una onda plana, también conocida como monodimensional, presenta unas características tales como tener una frecuencia constante, además sus frentes de onda (superficies con fase constante) son planos paralelos con una amplitud que también se mantiene. Este tipo de ondas solo pueden encontrarse en el espacio libre a una distancia muy grande del foco emisor.

El segundo caso es una función de onda esférica, cuya ecuación viene representada así:

$$\vec{E}(r, t) = \frac{E_0}{r} \cos(kr - \omega t) \quad (13)$$

Esta ecuación, al igual que la función de onda plana, depende del tiempo, pero también de una coordenada espacial denominada aquí como  $r$ . Esta solución describe una onda con frentes de onda esféricos propagándose desde el foco emisor, donde el valor del campo se mantiene constante.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Si combinamos las ecuaciones (12) y (13), podemos obtener lo que se conoce como ecuación de Helmholtz, la ecuación básica para estudiar un rayo monocromático:

$$\vec{\nabla} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{E}_0(\vec{r})) - k^2 \vec{E}_0(\vec{r}) = 0 \quad (14)$$

A partir de la ecuación de Helmholtz, es posible extraer la ecuación básica que describe el haz Gaussiano. Como hipótesis de partida, tomamos en consideración que la dirección de propagación de un haz Gaussiano es solamente una. Para nuestro estudio particular nos referiremos a esta dirección como  $z$ .

El campo electromagnético de un haz Gaussiano se puede describir matemáticamente con la ecuación:

$$E_0(\rho, z) = \frac{U_0 w_0}{w(z)} * e^{\frac{-\rho^2}{w^2(z)}} \cos\left(\frac{k\rho^2}{2R(z)} - \xi(z)\right) \quad (15)$$

Donde:

- $w_0$  = el radio de la sección transversal mínima (cintura)
- $z_r = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$  = distancia de Rayleigh, la cual se define como la distancia desde la cintura del haz hasta otro punto donde dicha cintura se multiplica por  $\sqrt{2}$ . (16)

- Radio de la sección transversal:  $w(z) = w_0 \sqrt{1 + \frac{z^2}{z_r^2}}$  donde  $z$  es la distancia de propagación. (17)

- Desfase:  $\xi(z) = \text{atg}\left(\frac{z}{z_r}\right)$  (18)

- Coordenadas:  $r^2 = x^2 + y^2 + z^2 = \rho^2 + z^2$  (19)

## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

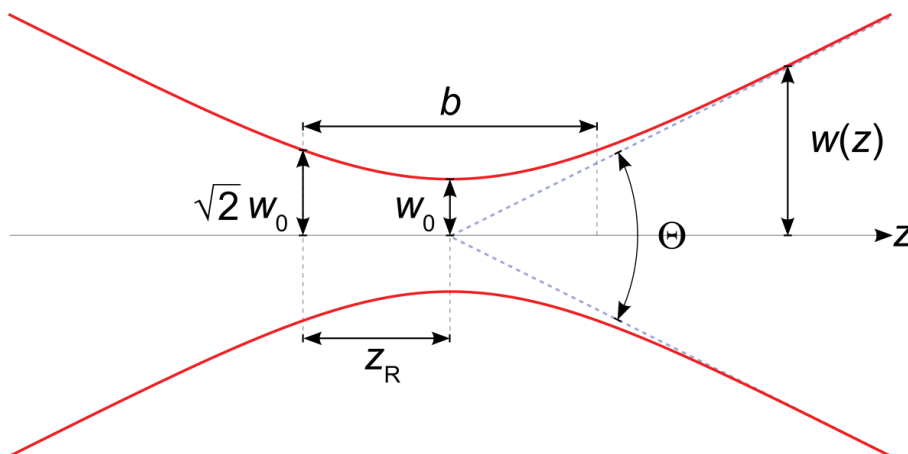


Ilustración 7: Representación y parámetros característicos de un haz Gaussiano

Los haces Gaussianos tienen un punto donde el radio de su sección transversal es mínimo. Como se observa en la ilustración, se trata de un haz Gaussiano en su zona de sección mínima para un plano  $zy$ . Para nuestro estudio, el origen de coordenadas del eje longitudinal será aquel punto donde la sección sea mínima, es decir aquel donde el radio del haz sea  $w_0$  tendremos nuestro  $z = 0$ .

La distribución de la intensidad del campo electromagnético en un plano que corta transversalmente el haz, permite obtener un gráfico con forma de campana Gaussiana. Normalizando la gráfica aparece una peculiaridad, la cual es que para un valor de amplitud igual a  $\frac{1}{e}$  se obtiene  $w_0$ .

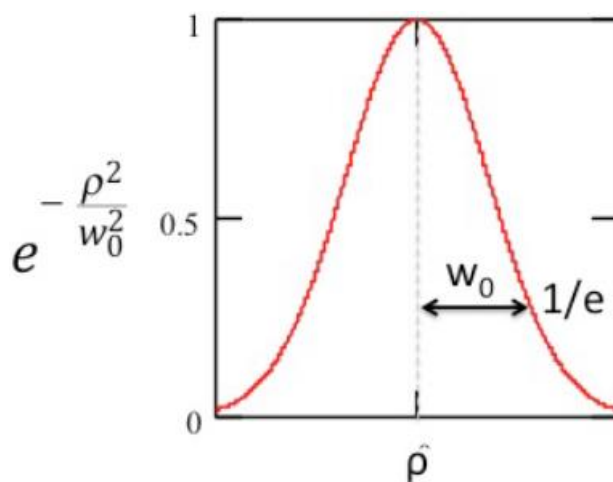


Ilustración 8: Perfil Gaussiano visto desde un plano  $zx$



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

En esta ilustración mostramos que para un plano xy con una campana de Gauss normalizada, podemos decir que al valor de  $\frac{1}{e}$ , o lo que es lo mismo un 36,79% del total de energía, tenemos que la anchura de la campana corresponde al radio.

### 5.5 Ángulo de divergencia y factor $M^2$

Una característica importante de un haz Gaussiano, es que presenta divergencia, esto significa que a medida que la distancia de propagación aumenta, también los hace su radio. Para distancias cercanas al foco emisor el radio del haz de luz es definible mediante la ecuación (17), sin embargo, dicha expresión depende de las distancias  $z$  y  $z_r$ .

Como la distancia de Rayleigh se trata en realidad de una constante, el único parámetro que puede ir aumentando es la distancia  $z$ , esto se traduce en que la expresión (17) se aproxima bien a  $w(z) = w_0 \frac{z}{z_r}$ . Como se trata de una función lineal, es posible trazar un ángulo entre la función  $w(z)$  y el eje de abscisas el cual denominamos ángulo de divergencia  $\varphi$ . [7]

El ángulo de divergencia puede definirse también como:  $\varphi = \frac{\lambda}{\pi w_0}$  esto significa que cuanto más pequeño sea el radio mínimo de cintura, mayor será el ángulo de divergencia. A partir del ángulo podemos definir el parámetro clave para clasificar nuestro láser de semiconductor. Como se explica al inicio de este documento, ahora nos encontramos con el parámetro conocido como  $M^2$ .

Podemos ver que la fórmula del ángulo puede describirse como otra igualdad, en este caso de productos:  $\varphi w_0 = \frac{\lambda}{\pi}$  como esta relación trata el radio y puede ser algo más complicado de medir que el diámetro, lo expresamos como:  $2\varphi 2w_0 = \frac{4\lambda}{\pi}$

Establecemos entonces lo que se conoce como el factor  $M^2$ . Este parámetro sirve para realizar comparaciones utilizando los parámetros del ángulo de divergencia y el radio mínimo. Conocida la relación que un haz Gaussiano ha de cumplir, podemos establecer el parámetro de  $M^2$  como:

$$M^2 = \frac{2\theta * 2w}{2\varphi * 2w_0} \quad (20)$$



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Los términos del numerador, hacen referencia al producto del diámetro del haz por su ángulo de divergencia, mientras que el denominador corresponde al mismo producto para un haz Gaussiano. Llegados a este punto, podemos observar que  $M^2$  nunca obtendrá un valor por debajo de 1 debido a que no existe ningún haz de luz real que sea perfectamente Gaussiano, y por lo tanto nuestro  $M^2$  tomará valores superiores. Dependiendo del medio activo podría ser entre 1-2 para láseres de gas o bien superiores a 100 para casos como nuestro láser de semiconductor.

Lo que buscaremos será medir la divergencia y el radio de nuestro láser para poder establecer cuanto es el valor del  $M^2$ . Para poder hacerlo nos encontramos con algunas dificultades. No todos los láseres son Gaussianos y utilizar las mismas fórmulas para encontrar los valores del ángulo y el radio en láseres del semiconductor sería un error ya que su perfil no es conocido, por esta razón se desarrolla un nuevo método explicado más adelante.

En segundo lugar, a priori, es desconocido dónde se encuentra la sección crítica del láser, ya que podría estar dentro del equipo o a varios cientos de metros del foco emisor. Por esta razón, el apartado siguiente tiene relevancia para cualquier estudio con láseres ópticos. [7]

### 5.6 Efecto de lentes en rayos Gaussianos

Es imprescindible el uso de materiales ópticos para los distintos casos que se pueden presentar, tales como focalizar el rayo, o dirigirlo hacia un punto o dirección específicos... Como hemos comentado anteriormente, es necesario conocer una zona delimitada donde sepamos que el láser tiene su sección más pequeña.

Para poder realizar las mediciones oportunas, se utilizan lentes para poder redireccionar el haz y focalizarlo en una zona conocida. El paso de la luz a través de las distintas lentes modifica ligeramente el haz principal tanto a nivel espacial como a nivel energético, ya que reduce la intensidad.

Para deducir los nuevos parámetros introducimos un factor de fase en función de la distancia del eje como:

$$\varphi(\rho) = \frac{2\pi}{\lambda} L(\rho) \quad (21)$$

Donde  $L(\rho)$  es la longitud del camino óptico en función del espacio. Para poder conocer esta nueva función tenemos que asumir que utilizaremos una lente plana-convexa de grosor  $D$ .



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

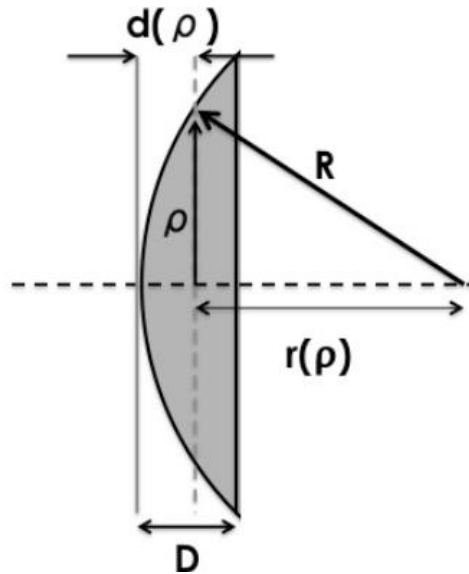


Ilustración 9: Lente plana-convexa

Lo que vemos es un ejemplo de la lente descrita anteriormente. Para resolver el camino focal, nos valemos de la óptica geométrica para definir la longitud focal de una lente delgada como  $f$ . Por otro lado, la longitud del camino focal  $L(\rho)$  es:

$$L(\rho) = d(\rho) + [D - (\rho)] * n = nD - (\rho)[n - 1] \quad (22)$$

Gracias a las ecuaciones (21) y (22) y a un proceso matemático complejo que no es alcance de este estudio, obtenemos lo que sería la relación entre los parámetros antes de entrar en contacto con una lente y después.

$$z'_r = \frac{f^2}{z_r} \quad (23)$$

$$\frac{\pi w'_0{}^2}{\lambda} = \frac{f^2 \lambda}{\pi w'_0{}^2} \quad (24)$$

$$w'_0 = \frac{f \lambda}{\pi w_0} \quad (25)$$

Donde los parámetros con comilla aquellos que se obtienen después atravesar una lente, mientras que el resto son los valores originales del rayo láser. [7]





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

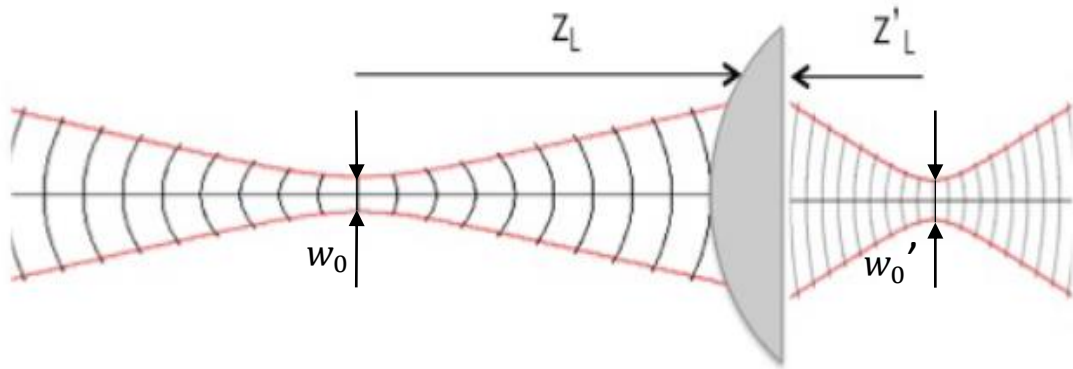


Ilustración 10: Representación de las zonas focalizadas antes y después de una lente

Gracias a esta imagen, y a la ecuación (22) la cual puede presentarse como:

$$M^2 = \frac{2\theta * 2w}{2\varphi * 2w_0} = \frac{\pi}{4\lambda} [2\theta \cdot 2w]$$

Podemos realizar la afirmación siguiente, la cual es de suma importancia; y es que el valor de  $M^2$  se mantendrá constante sin importar si este es obtenido directamente de la luz que surge del sistema, o bien si está medido después de focalizar dicha luz mediante lentes. Por esta razón los cálculos presentados no serán necesarios aplicarles factores de corrección siempre y cuando se busque el factor  $M^2$ .



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 6. Métodos para la caracterización del perfil transversal de un haz láser

#### 6.1 La técnica Knife-Edge

Para determinar el factor  $M^2$  tenemos que medir la divergencia del haz, midiendo la dependencia de  $w$  con la distancia de propagación, empezando en  $z = 0$ , donde el radio de la sección transversal es mínima. En un primer momento, no es posible conocer donde se encuentra esta sección, por esta razón recurrimos a un lente que focalizará la luz de forma que sea sencillo localizar  $z = 0$ .

Como ya hemos explicado en el apartado anterior, gracias a que el  $M^2$  no cambia a pesar del uso de lentes, mediremos los parámetros del ángulo y el radio en nuestra zona de trabajo para luego calcular el valor.

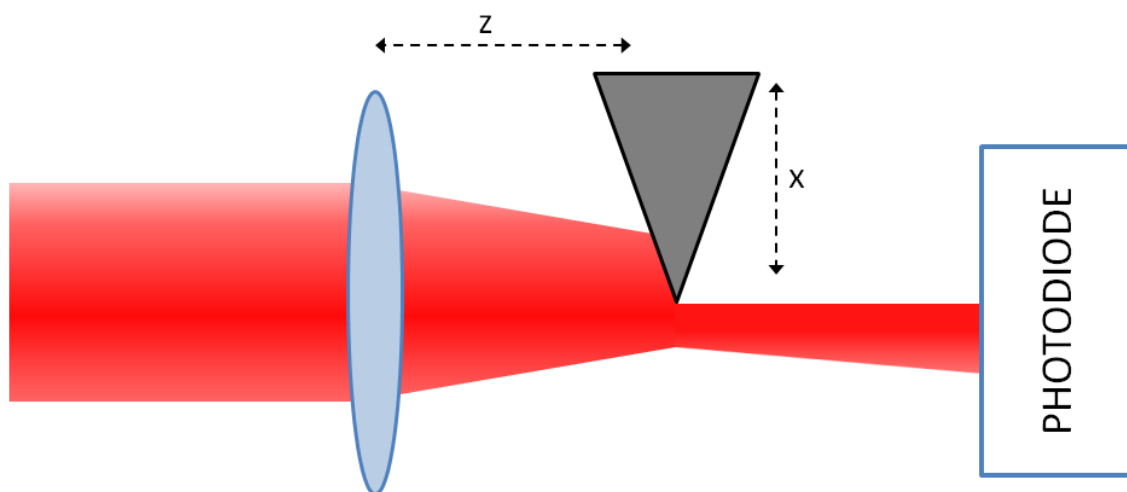


Ilustración 11: Esquema del montaje Knife-Edge

La técnica Knife-Edge consiste en lo siguiente:

Utilizando una lente buscaremos focalizar la luz, a unos metros posteriores siguiendo la dirección de propagación del haz de luz, colocaremos un fotodiodo, el cual tendrá el cometido de medir la potencia del campo electromagnético que le llega desde la lente en cada instante. Entre medio de estos dos elementos dispondremos un tercer elemento más, el cual será un objeto tal como puede ser una cuchilla de afeitar, la cual tendrá la finalidad



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

de desplazarse de forma perpendicular a la dirección de propagación, buscando obstruir el paso de la luz y así la cantidad de energía que le llega al fotodiodo.

Es posible conocer la posición en la que se encuentra nuestra cuchilla con cada movimiento, por lo tanto, buscaremos medir el desplazamiento en el eje x. En la técnica del Knife-Edge, solo son de interés aquellos puntos del eje x donde el fotodiodo puede medir un 86% y 14% de la potencia medida por el fotodiodo sin eclipsar la luz. El motivo se detalla a continuación:

La fórmula que define la intensidad de un haz Gaussiano es:

$$I(z, x, y) = \frac{I_0 * \omega_0^2}{\omega(z)^2} e^{-\frac{2(x^2 + y^2)}{\omega(z)^2}} \quad (26)$$

Partiendo de esta ecuación, es posible calcular la potencia del láser que se va a transmitir. Para ello aplicamos una integral doble, sobre los ejes x e y ya que el eje de desplazamiento z permanece constante para cada medición.

La obtención de la potencia se logra cuando:

$$P = \int_x^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy \frac{I_0 * \omega_0^2}{\omega(z)^2} e^{-\frac{2(x^2 + y^2)}{\omega(z)^2}} \quad (27)$$

Vemos que para el eje y los límites son los supuestos para un haz Gaussiano ya que este se supone ideal y los límites que abarca se encuentran en el infinito. En el eje x sin embargo, al delimitar con la cuchilla, el origen es a partir de un punto x, siendo el punto final también infinito.

Es entonces cuando llegamos a una expresión donde podemos diferenciar dos términos, primero, una constante que define la potencia total del haz, y otro que debido a la naturaleza de la integral, nos lleva a la definición de una función error.

$$P = \frac{I_0 \omega_0^2 \pi}{2} * \frac{1}{2} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x\sqrt{2}}{\omega(z)} \right) \right) \quad (28)$$

(30)

Si definimos una normalización del radio  $R = \frac{x}{\omega(z)}$  donde definimos como  $x_1 = -0,5 \omega(z)$  y por otro lado  $x_2 = +0,5 \omega(z)$  obtenemos:

$$P(-0,5, z) = 0,86 P_{total} \quad (29)$$

$$P(+0,5, z) = 0,14 P_{total}$$



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Para comprender mejor este procedimiento, mostramos una imagen a continuación:

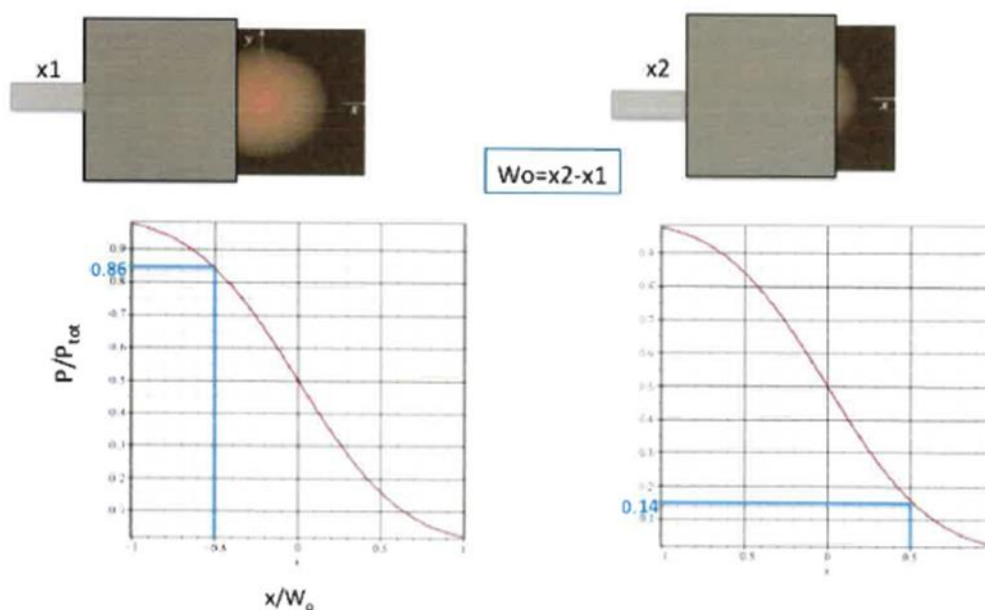


Ilustración 12: Esquema de la metodología teórica de la técnica Knife-Edge

De estos dos resultados podemos obtener que  $\Delta x = \omega(z)$ . Dicho de otro modo, la diferencia del desplazamiento de  $x$  entre el punto  $x_2$ , aquel donde se encuentra el 86% de la intensidad total, y el punto  $x_1$  donde tenemos el 14% de la intensidad total, es equivalente al radio de la sección transversal.

El proceso explicado anteriormente mide el radio del haz a una distancia  $z$  determinada. La medida se tiene que repetir para diferentes planos en el eje  $z$  de modo que podamos obtener distintos radios para cada plano  $z$ . Una vez hecho esto, es posible graficar el radio en función de  $z$ . El resultado de dicho gráfico debería asemejarse a una parábola, la cual debería tener un radio mayor en aquella zona donde los valores de la cintura del haz sean más pequeños.

La demostración anterior, es posible si consideramos un haz Gaussiano ya que conocemos sus expresiones matemáticas, sin embargo, cuando el perfil del haz no lo es, implica que puede o no ser Gaussiano, y por lo tanto son desconocidas las funciones que describen los perfiles.

Llegados a este punto, es fácil observar que como no es posible establecer la función intensidad para luego definir la potencia, no se puede llegar a saber cuáles son los puntos clave necesarios para definir  $\Delta x$ , y como consecuencia no establecer el radio. Experimentalmente, se ha podido demostrar que el radio se puede encontrar para puntos



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

definidos cercanos al 90% y 10% de la potencia total, por este motivo, cuando no consideremos un haz Gaussiano, buscaremos los porcentajes descritos para definir el radio del rayo.

### 6.2 Aplicación del Knife-Edge en un láser de Helio-Neón

Para comprobar la técnica del Knife-Edge, a continuación vamos a poner en práctica el método.

El láser sobre el cual vamos a aplicar esto es uno que se encuentra en el primer laboratorio de óptica en el edificio Gaia. Concretamente estamos hablando de un láser cuyo medio activo está formado por los gases nobles Helio y Neón. Si recordamos de páginas anteriores, decíamos que para un haz de luz donde su parte activa estuviera constituida por gases, su coeficiente de  $M^2$  debería de oscilar entre 1-2 ya que se pueden considerar muy precisos.

La luz que produce este láser es prácticamente monocromática, de color rojo, y para los cálculos que veremos a continuación establecemos el valor de su longitud de onda, siendo este aproximadamente:  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ . La fuente del rayo láser emite en una dirección, sin embargo, para poder trabajar correctamente es necesario de disponer del espacio suficiente, y que son necesarios muchos puntos, (alrededor de 40-45), uno por cada centímetro aproximadamente.

Más tarde, se acopla una lente convergente, para poder lograr así que la zona de cintura mínima quede dentro de nuestro banco de trabajo. Al final de dicho banco, colocamos el fotodiodo que estará conectado a un dispositivo que monitorizará en tiempo real la potencia recibida por el láser. Por último se instala la plataforma con la cuchilla con un micrómetro, haciendo posible así medir el desplazamiento de  $x$ .

Podemos resumir el montaje siguiente así:

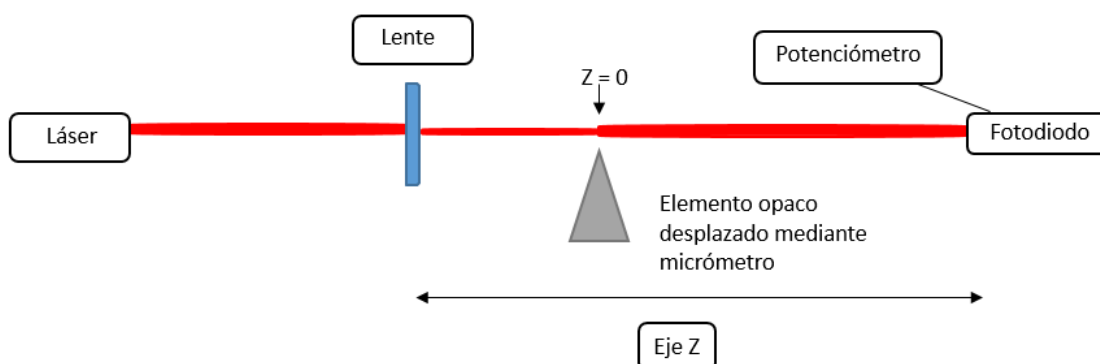


Ilustración 13: Esquema gráfico del montaje Knife-Edge



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

El procedimiento después del montaje consiste en los siguientes pasos:

- Primero retiramos la cuchilla hasta asegurarnos que el fotodiodo mide toda la potencia.
- En este punto se determina la potencia que llega y se calcula, para este caso, el 86% y 14% de la potencia total
- Ahora con el micrómetro, empezamos a eclipsar el haz, de tal forma que podamos reducir la intensidad que recibe el fotodiodo.
- Cuando logremos tener las potencias calculadas, podremos ver los milímetros recorridos y determinar el valor del  $w(z)$  correspondiente.

Este procedimiento, se repite variando la distancia  $z$  con un paso determinado comenzando en alguna zona cercana a la lente convergente y terminando varios centímetros lejos de la zona de convergencia.

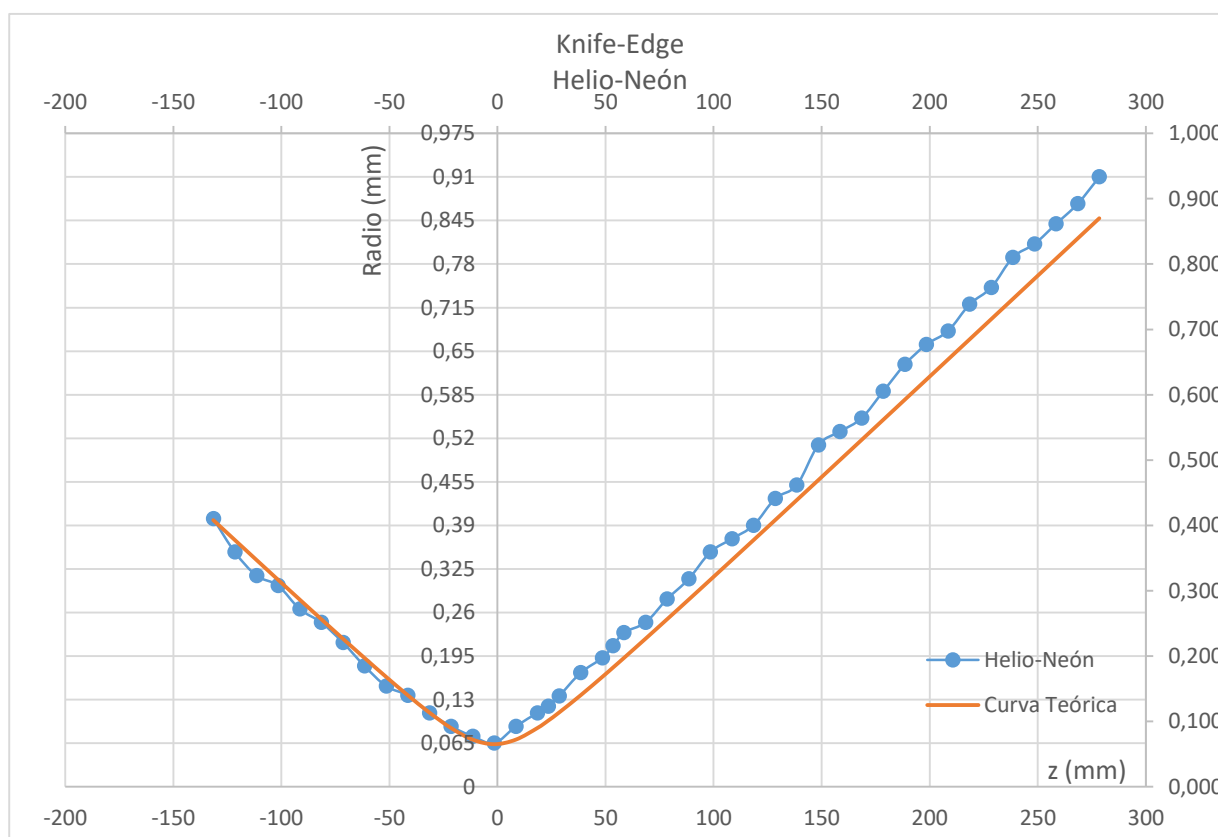


Gráfico 1: Parábola de los radios de los planos transversales



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Si dirigimos la atención sobre el gráfico, vemos que aparecen representadas dos curvas. Como bien se indica, la naranja es la parábola que surgiría tras aplicar la ecuación (15), es decir, correspondería al radio mínimo teórico en cada punto si el láser fuera ideal.

La curva azul representa para cada punto, el  $\Delta x$  entre los puntos del 86% y 14% de la potencia total. Podemos hacer diferentes observaciones si comparamos ambas gráficas.

En primer lugar y quizás más significativo es el gran parecido entre ambas. Tanto la curva teórica como la experimental, tienen su mínimo en el valor de 0,065 mm. Quiere decir que hemos podido acercarnos muchísimo al valor que se esperaría. Dicho punto está ubicado como  $z = 0$ , pero no quiere decir que hayamos encontrado como primer punto el de radio mínimo, simplemente después de obtener todos los puntos se ha ajustado como el origen.

Si recordamos uno de los objetivos de este experimento era medir el  $M^2$  que lo definíamos en la fórmula (20) y son necesarios el radio mínimo y el ángulo de divergencia. Como nos falta el ángulo, creamos un gráfico de solamente la parte lineal con la finalidad de obtener la ecuación de una recta.

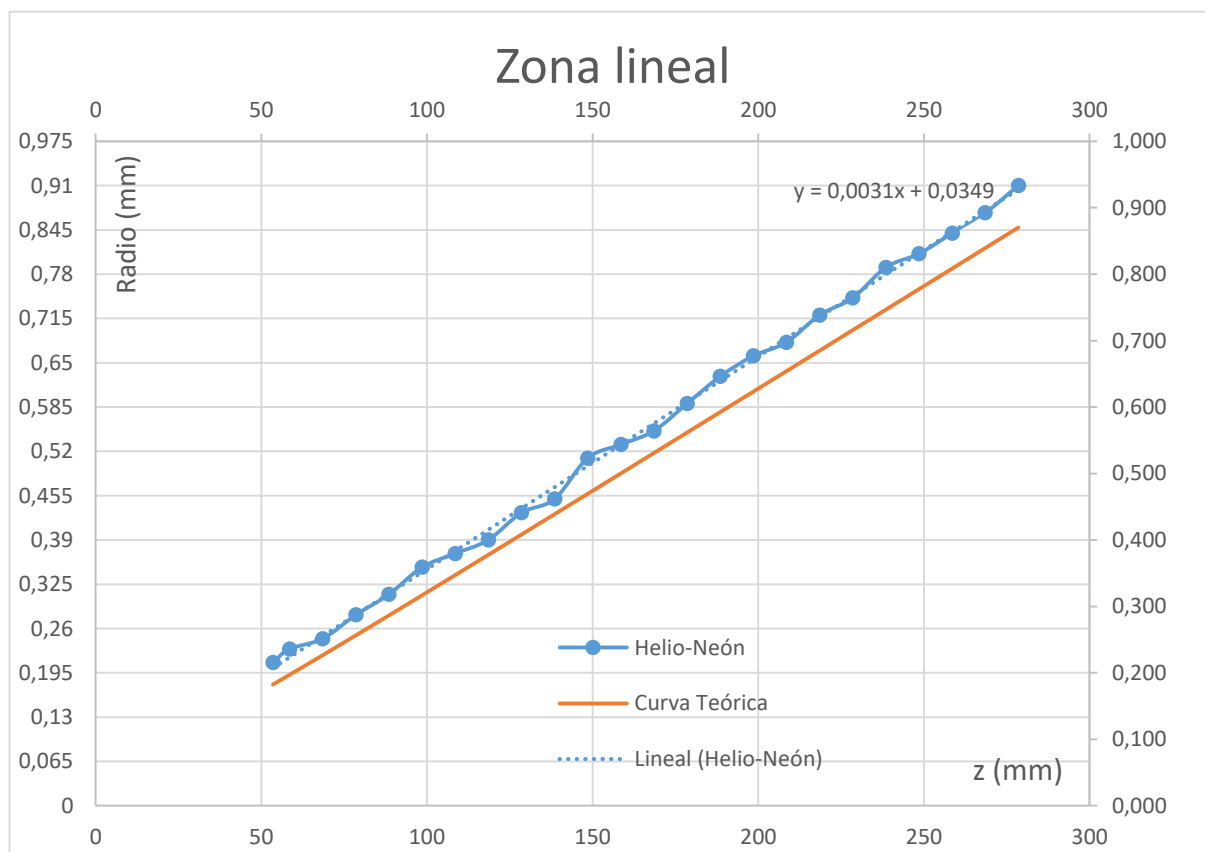


Gráfico 2: Zona Lineal del gráfico 1





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

En el gráfico podemos ver de nuevo la curva teórica y la experimental, además, se ha añadido una línea de tendencia para nuestros puntos experimentales, la cual es bastante coincidente.

La ecuación de la recta presentada es la siguiente:

$$y = 0,0031x + 0,0349 \quad (31)$$

Para encontrar el ángulo de divergencia  $\varphi$  debemos encontrar el ángulo que forma nuestra recta con la horizontal. Por lo tanto:

$$\varphi = \arctg(m) = \arctg(0,0031) = 0,0031$$

Debido a que el ángulo es muy pequeño, al aplicar la función arco tangente el resultado no cambia. Esto nos permite ir ahora al cálculo del  $M^2$ . Hemos de recordar antes, que generalmente cuando hablamos de láser con un medio activo como dos gases nobles, el resultado debería estar entre uno y dos, ya que son láseres con un perfil muy Gaussiano.

Utilizando la fórmula (20) obtenemos:

$$M^2 = \frac{\pi * \omega_0 * \varphi}{\lambda} = \frac{\pi * 0,065(mm) * 0,0031(mrad)}{6.328 * 10^{-4} (mm)} = 1,015$$

El valor obtenido de  $M^2$  vemos que es muy próximo a 1. De aquí podemos concluir varios aspectos: primero el hecho de tal como ya establecimos anteriormente, un láser de gas obtiene un valor muy cercano a la unidad como es nuestro caso. Otra conclusión que podemos sacar es que la técnica aprendida funciona realmente cuando el perfil es Gaussiano.

Si bien la técnica del Knife-Edge funciona, es cierto que solo es aplicable bajo algunas condiciones. Primero, la potencia del láser no puede ser excesivamente alta, ya que algunos láseres de semiconductor son capaces de desarrollar mucha más intensidad, esto implica que existan problemas tanto en la cuchilla como en el fotodiodo. Debido a la alta energía transmitida, la cuchilla que se utiliza para ir cortando el láser puede sufrir quemaduras, lo que puede traducirse en la creación de irregularidades debidas al calor, por lo tanto con cada medida iríamos perdiendo precisión.

Otro aspecto, es el fotodiodo, el cual está bajo el mismo problema, ya que para bajas intensidades, el fotodiodo puede trabajar sin ningún problema, sin embargo cuando elevamos la potencia recibida, es posible que llegue tanta energía por unidad de superficie que sature el medidor haciendo que la lectura no se haga posible, o bien en casos peores, que el fotodiodo pueda llegar a quemarse.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 6.3 Cámara CCD

A continuación vamos a presentar el procedimiento necesario, los valores obtenidos y el cálculo del parámetro de  $M^2$ . Para este caso, no utilizaremos la metodología Knife-Edge sino que nos valdremos de una cámara CCD. Antes de nada realizamos una explicación de este tipo de cámaras.

Una cámara CCD, del inglés, charge coupled device, reconvierte una señal de tipo luminosa, en una de tipo eléctrica. Basados en los principios de las capacidades de un MOS, estos dispositivos presentan la particularidad de poder almacenar y desplazar en su interior cargas eléctricas en formas de paquetes, formando registros de desplazamiento analógicos.

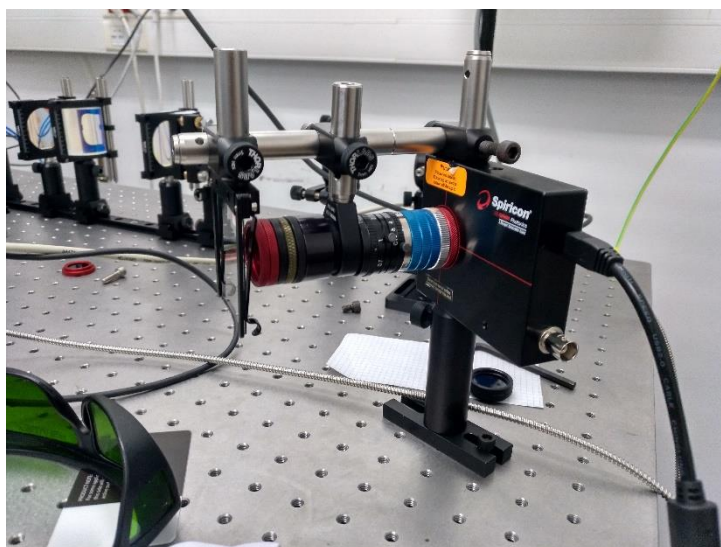


Ilustración 14: Cámara CCD

El proceso de obtención de datos en este caso es más simple que en el del Knife-Edge. Durante estas mediciones es necesario de nuevo establecer un eje z paralelo al haz de luz, donde en esta ocasión tendremos la cámara que vemos en la imagen de arriba acoplada. De nuevo se utilizan lentes para focalizar el láser dentro de nuestra zona de trabajo conociendo más o menos en que puntos se encuentra. El conjunto se coloca en el punto más cercano a la lente con el fin de obtener más recorrido y a su vez más puntos.

Desde cada punto, se busca la imagen que nos muestra la cámara en el programa, para que no quede fuera de la zona que registra la señal lumínica. Debido a la alta potencia del láser es necesario el uso de filtros para no saturar la lectura o dañar la cámara porque con



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

estos tipos de láseres es posible alcanzar potencias suficientes como para quemar los sensores que reciben el estímulo luminoso.

Para cada imagen, el mismo software nos mostrará dos medidas, en primer lugar el diámetro que es capaz de medir, y en segundo lugar un diámetro obtenido a partir de utilizar unos cálculos similares al Knife-Edge pero tomando los valores del 10% y 90%.

El motivo por el cual no se utiliza Knife-Edge en este caso, es debido a que la potencia del láser, es suficiente como para ir degradando poco a poco la cuchilla haciéndola irregular, lo que imposibilita que se puedan hacer medidas correctas y por lo tanto, en este caso el método no es válido.

### 6.4 Láser de Semiconductor con cámara CCD

Al igual que en el apartado anterior, aquí se introduce la obtención del parámetro de  $M^2$  mediante cámara CCD. Sin embargo ya en este apartado pasamos al estudio del láser principal objeto de esta memoria.

Al tratarse de un láser cuya potencia puede ser superior al del helio neón, no es posible ejecutar la técnica del Knife-Edge ya que sería imprecisa. En este láser se conoce que su longitud de onda es de aproximadamente  $970\mu\text{m}$ . Otro aspecto a destacar es que si bien presentamos el cálculo de  $M^2$  se ha de advertir que para estos casos no es posible predecir sobre qué valor puede salir el resultado ya que según las características del láser su parámetro  $M^2$  puede ir desde 50 hasta 100 o superior por lo tanto no podemos dar un índice de precisión como en los ejemplos anteriores.

Como se requiere de unos filtros especiales y un montaje como el de a continuación la zona de trabajo es más reducida, por lo tanto la cantidad de puntos obtenidos es mucho menor.

La cámara por defecto realiza un “barrido” sobre los dos ejes. Si recordamos, buscamos medidas para diferentes planos de z, con lo cual existe para cada distancia dos ejes que definen el espacio, sin embargo para este estudio nos centraremos solo en las medidas extraídas del eje x.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

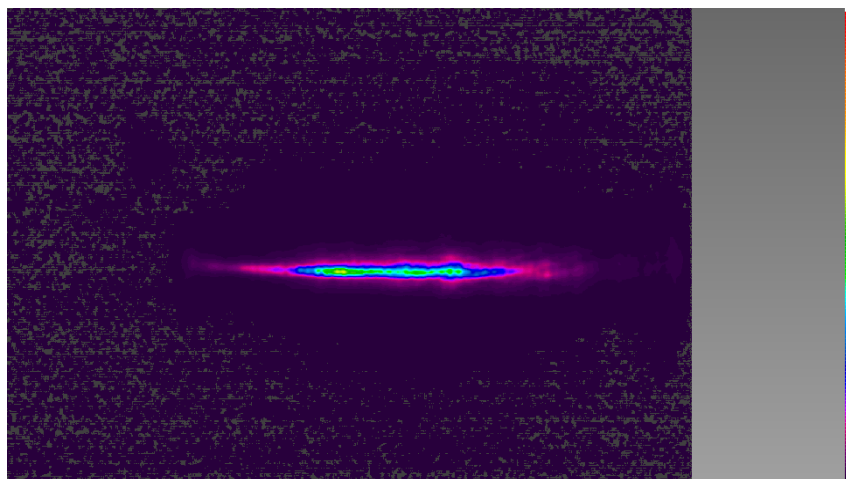


Ilustración 15: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano anterior a sección mínima

La primera imagen nos muestra un perfil del láser en un plano algo alejado de la zona donde focaliza la energía. Se puede apreciar cómo se encuentra lejos de ser Gaussiano debido a su forma alargada y delgada además de ser asimétrico.

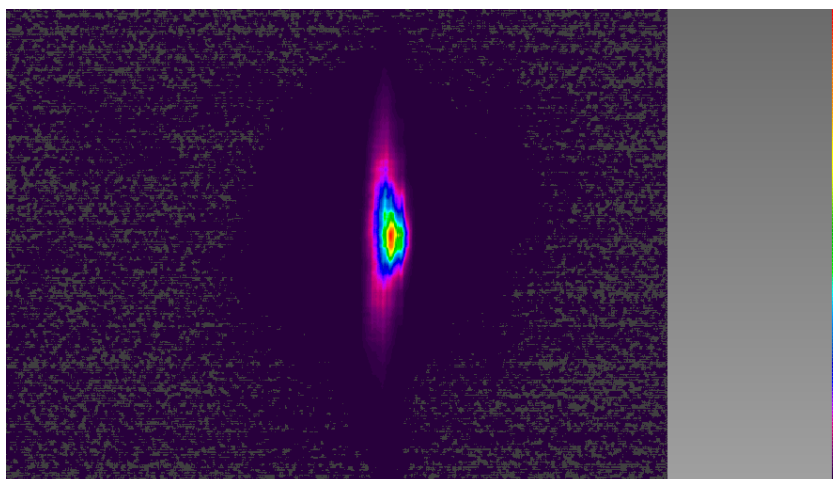


Ilustración 16: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano en la zona focalizada

La segunda imagen corresponde al perfil obtenido tras escanear el láser en el plano donde su sección es mínima. Por un lado podemos ver que se diferencian distintas zonas según los colores, aquellos menos intensos bordean el exterior, los cuales corresponden a zonas de menor potencia mientras que en el centro aparecen pequeñas zonas donde la potencia es mayor. Comparando esta imagen con la de un perfil Gaussiano del apartado 5.3 podemos deducir que no es posible clasificar el perfil de este láser con uno Gaussiano, por lo tanto no conocemos su perfil.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

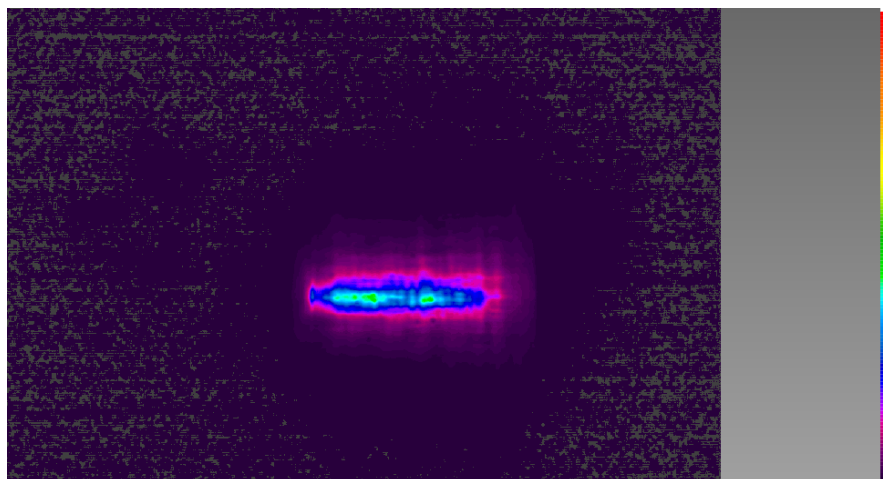


Ilustración 17: Perfil del láser de semiconductor mediante cámara CCD. Plano posterior a la zona focalizada

En la última imagen ya nos encontramos en un plano algo alejado del plano crítico, podemos apreciar esto en los colores que representan la intensidad más elevada, los cuales ya no aparecen. También destacar que su forma ha vuelto a cambiar, haciéndose más estrecho y alargado, debido a la divergencia que estos tipos de láseres presentan.

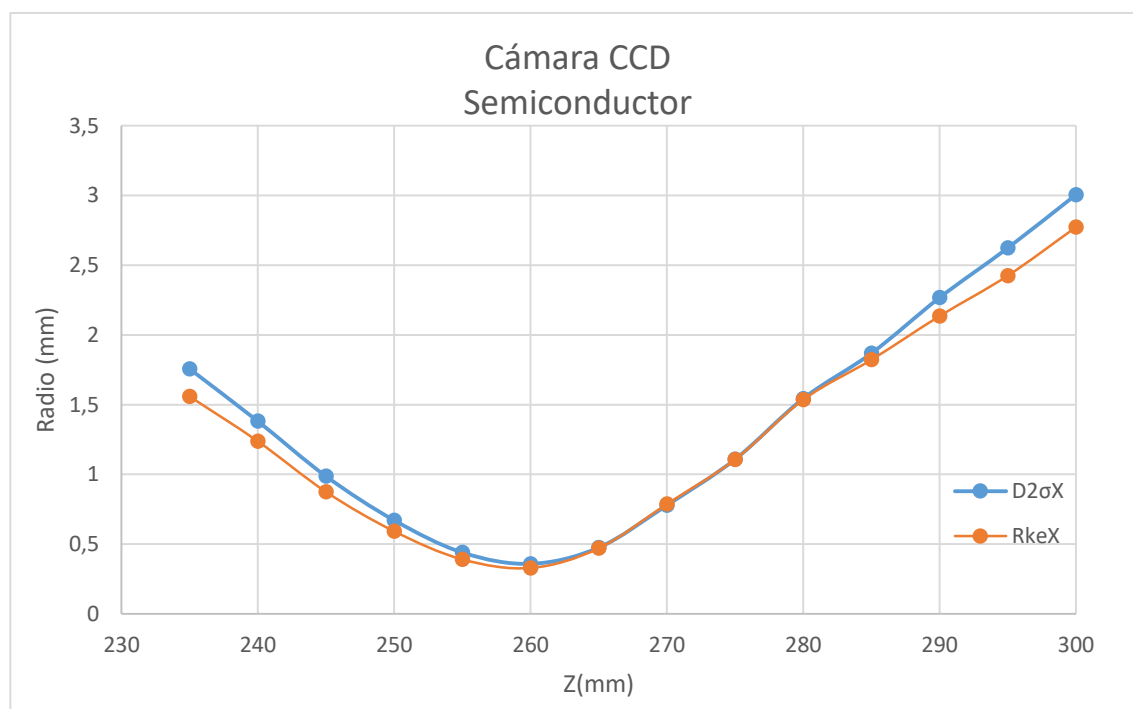


Gráfico 3: Curvas de los radios de secciones transversales



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Aquí se presentan los datos graficados para distintos planos, tomando como distancia cero, la posición de la lente convergente. Como ya hemos explicado en el apartado anterior, el programa realiza el cálculo del radio de láser mediante dos caminos distintos, en azul conocido como  $D2\sigma X$  que utiliza cálculos estadísticos para encontrar el radio. El otro método consiste en buscar las  $x$  asociadas a los porcentajes de área, concretamente el 10% y el 90%.

Podemos comprobar que ambas curvas son bastante similares, lo cual se traduce en que si bien sus valores por planos pueden variar ligeramente, siempre se encuentran dentro de un rango determinado.

Extrapolamos entonces de este gráfico los valores mínimos del radio para ambas curvas, estos se da para  $Z=260$  mm.

Radio  $D2\sigma x = 0.3591$  mm

Radio  $R_{kex} = 0.3293$  mm

Como nos falta la  $f_i$ , ampliamos a la zona lineal el gráfico anterior y obtenemos lo siguiente:

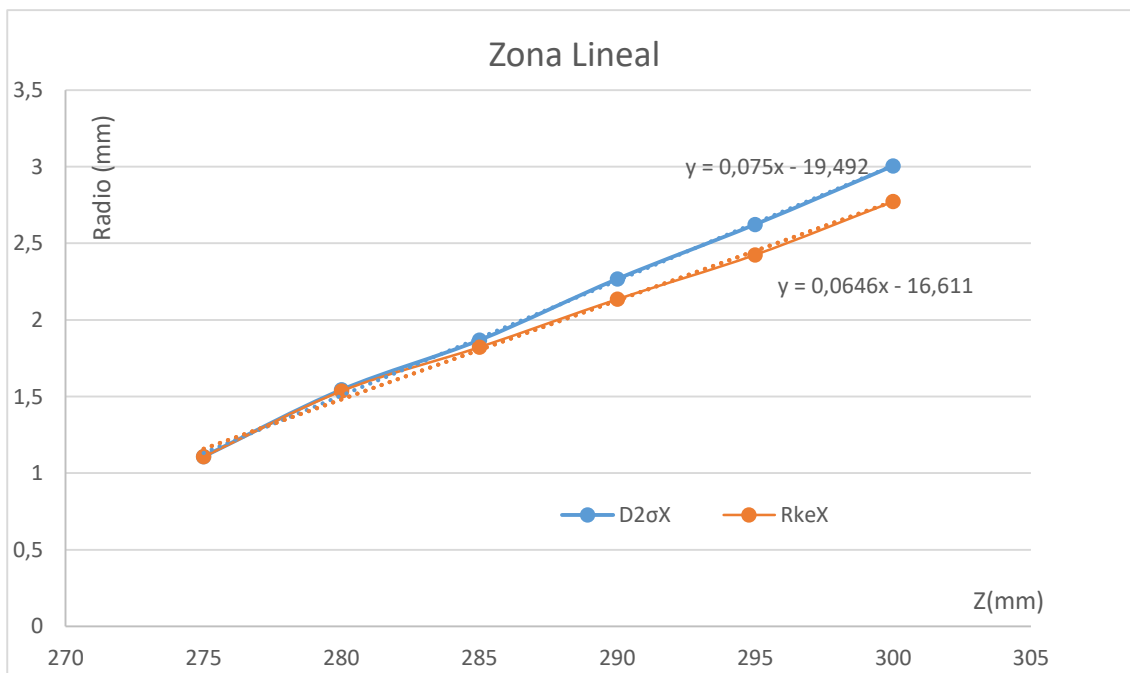


Gráfico 4: Zona lineal de la gráfica 3



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Este gráfico presenta las dos rectas que comentábamos anteriormente, además de presentar las ecuaciones de los gráficos, las cuales nos permitirán obtener el ángulo necesario para nuestro coeficiente.

- $\varphi(D2\sigma_x) = 0.1496$
- $\varphi(Rk_{ex}) = 0.129$

Como ya disponemos de todos los valores, procedemos al cálculo del  $M^2$ .

- Factor para  $D2\sigma_x$

$$M^2 = \frac{\pi * \omega_0 * \varphi}{\lambda} = \frac{\pi * 0.3591(mm) * 0.1496(mrad)}{0.00097(mm)} = 174,13$$

- Factor para  $Rk_{ex}$

$$M^2 = \frac{\pi * \omega_0 * \varphi}{\lambda} = \frac{\pi * 0.32928(mm) * 0.129(mrad)}{0.00097(mm)} = 137,59$$

Hemos obtenido los valores que buscábamos, y se sitúan ambos por encima de las centenas, sin embargo algo que no sorprende ya que en este tipo de láseres se da una mayor importancia a la potencia, que a la capacidad de desarrollar precisión y calidad de luz emitida.

Remarcar el hecho de que estos datos obtenidos y calculados son todo a partir de mediciones o datos experimentales, no son logrados a través de fórmulas por lo tanto es necesario otra fuente que aporte datos para lograr comprender mejor si realmente estos parámetros son correctos. Realmente no podemos conocer de primera mano en que plano exacto se encuentra el radio mínimo, por lo tanto no es posible ofrecer el radio mínimo exacto.

El uso de la cámara CCD demuestra ventajas contra el método manual como el Knife-Edge. Por ejemplo, es capaz de realizar el perfil en dos direcciones al mismo tiempo, y también se evita cometer el error humano al medir con el micrómetro, como ocurría con el láser de helio-neón.

Sin embargo recurre la problemática de la potencia, y es que si bien la cámara permite medir para potencias más altas, aumentando aún más comenzamos a denotar errores hasta el punto que no es posible medir, y es que cuando la potencia es más elevada de un cierto valor, los pixeles se comienzan a saturar haciendo poco o nada legible la lectura obtenida, es por eso que sería necesario encontrar otro método que a pesar de la potencia empleada se puedan realizar lecturas.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 7. Medida del perfil del haz utilizando una fibra óptica

#### 7.1 Descripción del método

En este apartado realizaremos una descripción del método que se ha desarrollado para poder caracterizar el haz del láser de semiconductor. La técnica del Knife-Edge permitía conocer parámetros como el  $M^2$  o también los radios de los planos transversales cuando el perfil era conocido, la cámara CCD podía obtener una lectura de la forma del perfil y obtener los radios, sin embargo, los cálculos que ejecuta para obtener dichos resultados no son controlables por el usuario.

Por estas razones se hace interesante desarrollar un método que sea capaz de obtener el perfil completo del rayo láser. Lo que se pretende conseguir es representar en un gráfico 2D, la intensidad para el eje de ordenadas y la posición  $x$  para el eje de abscisas. Para lograr conocer cómo va cambiando la intensidad a lo largo del eje  $x$ , vamos a medir estos valores y no calcularlos o simularlos, y para ello necesitamos el potenciómetro, el cual nos dirá la potencia total que está captando su sensor. Para este método, en vez del fotodiodo, utilizaremos una fibra óptica de un diámetro de aproximadamente  $200\mu\text{m}$  lo cual permite coleccionar la luz de forma mucho más eficiente que en el fotodiodo.

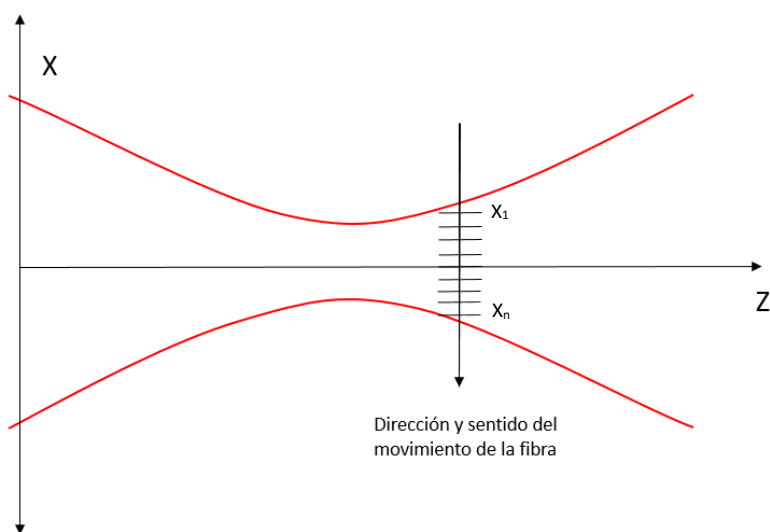


Ilustración 18: Movimiento y posición esquemáticos de la fibra óptica



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Lo que vemos en la imagen es un esquema del montaje de la fibra en el perfil láser. Buscaremos segmentar el eje x, el cual será perpendicular al eje z, en partes iguales y muy pequeñas, suficientes para que la fibra utilice cada segmento para medir la potencia en ese punto, de esta manera es posible crear un perfil completo en dos ejes (xz) donde tengamos un desplazamiento total, el cual será la  $x_{total}$  y un  $\Delta x$  que será el paso.

Como se necesitan muchos puntos y el desplazamiento de la fibra ha de tener una precisión nanométrica, se empleará un motor que puede desarrollar pasos muy pequeños, además, de esta forma es posible automatizar todo el proceso de toma de datos.

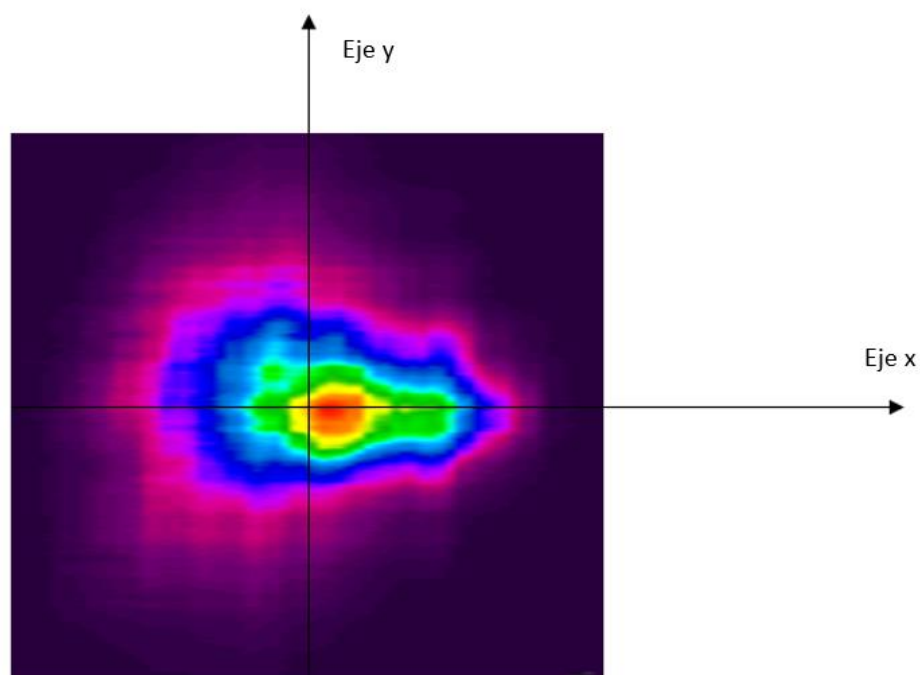


Ilustración 19: Barrido en los ejes de un plano transversal del láser de semiconductor

Como se observa, podemos crear distintos ejes x para distintos ejes y ya que en realidad el perfil completo quedaría descrito por un “barrido” completo de los dos ejes en distintas posiciones, pero para este estudio vamos a emplear una altura media para todos los ensayos y medir todo el perfil a lo largo del eje x.

Cuando tengamos todos los puntos, utilizaremos un programa para que realice cálculos sobre todos los puntos obtenidos y poder así obtener una medida del radio o diámetro del haz de luz.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Para este cálculo, se dispondrán de dos formas distintas:

- $D4\sigma$ : El diámetro de un haz en la dirección horizontal, es 4 veces  $\sigma$ , donde  $\sigma$  es la desviación estándar de la distribución marginal horizontal. Donde  $\bar{x}$  es el centroide del perfil del haz en la dirección  $x$ .

$$D4\sigma = 4\sigma = 4\sqrt{\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y)(x - \bar{x})^2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dx dy}} \quad (32)$$

$$\bar{x} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y)x dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dx dy} \quad (33)$$

- Integral 10%-90%: En este apartado, con todos los puntos, buscaremos el área bajo la curva, para luego encontrar la  $x$  más cercana al punto donde tengamos un 10% del área y lo mismo con aquel punto cercano al 90%. De esta forma, restando ambas  $x$ , obtendremos directamente el radio del perfil.

### 7.2 Automatización

Llegados a este punto se hace necesario, presentar el que ha sido el foco de trabajo, y que como resultado ha permitido realizar nuevas medidas experimentales de un modo más eficiente. La base de este proceso es un programa informático denominado Labview.

Labview es un software desarrollado por la empresa National Instruments, el cual está recomendando para realizar tareas tales como pruebas, controles, diseños o simulaciones de sistemas. La particularidad que tiene, y la cual le hace característico, es que el lenguaje que emplea no se trata de código como ya puede ser, C, java, python etc. En este caso se emplea lo que se conoce como lenguaje G.

El lenguaje G, o como se conoce, lenguaje gráfico, se basa en la programación mediante bloques, donde cada bloque puede representar cualquier elemento de programación, ya sean herramientas booleanas, números, funciones matemáticas, operaciones de todos los ámbitos...Por este motivo, en circunstancias determinadas es mucho más rápido de programar que en sistemas más habituales.

La otra gran ventaja de Labview es su compatibilidad, ya que es capaz de interconectar, como veremos más adelante, diferentes sistemas cada uno con sus peculiaridades y hacerlos funcionar juntos para lograr realizar tareas que normalmente serían muy complejas debido a la naturaleza de los diferentes periféricos.

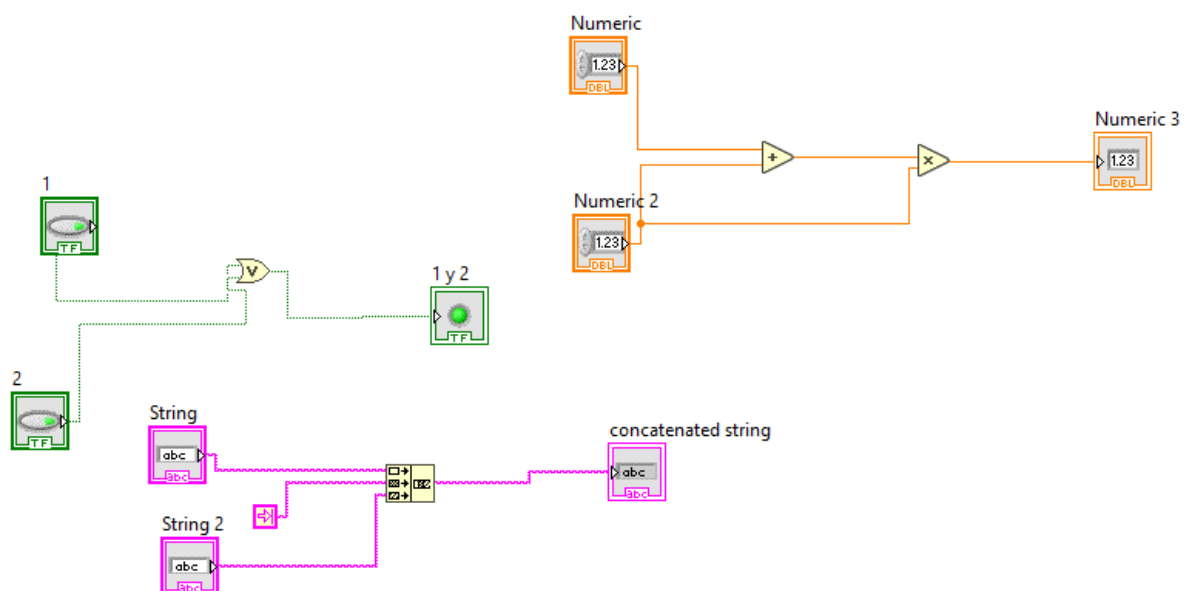


## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

A diferencia de otros programas donde tan solo existe una pantalla donde se lleva a cabo la escritura de todo el código necesario, Labview se apoya en dos conceptos paralelos, es pues la forma de trabajar mediante dos pantallas.

- Panel Frontal: En esta pantalla es la que se encarga de que sea posible la interacción del usuario con el programa desarrollado, ya que en muchas ocasiones no consiste en un ejecutar un programa y dejarlo correr, sino que es necesario la entrada de datos desde teclado u otra fuente para que se pueda ejecutar de manera correcta y completa.
- Diagrama de bloques: En esta pantalla se encuentra el código propiamente dicho, aquí buscaremos construir nuestro programa mediante la utilización de bloques, los cuales iremos uniendo uno tras otro mediante cables virtuales a la vez que los hacemos operar de distintas formas para los casos y circunstancias necesarios.

Al utilizar bloques donde no hace falta programar sino que solamente se ejecuten cuando están bien interconectados, hace que sea un programa muy versátil y sencillo para muchos tipos de situaciones.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

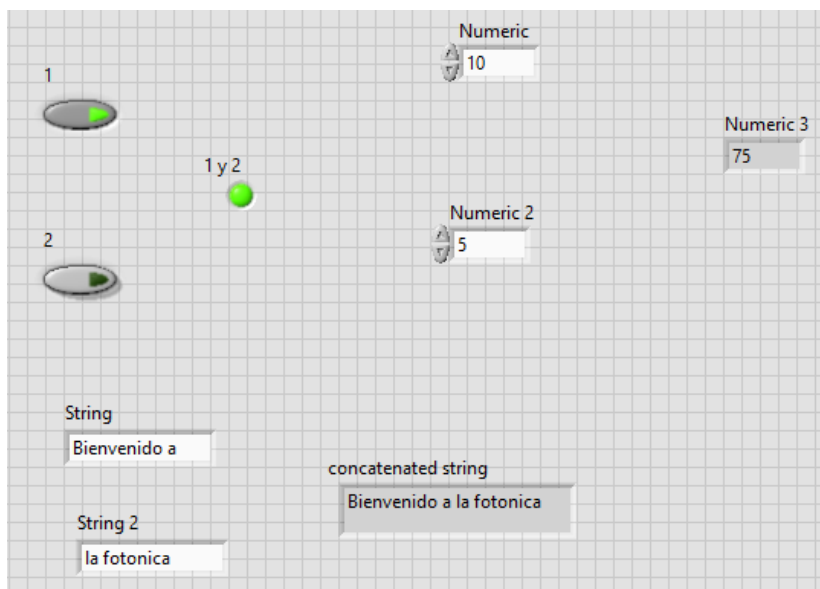


Ilustración 20: Ejemplos del diagrama de bloques y el panel frontal respectivamente

Lo que se puede apreciar en estas imágenes son capturas de pantalla de un ejemplo muy básico de lo que puede hacer Labview con unos pocos bloques unidos de la forma correcta: entradas booleanas que solo se activan en la respuesta cuando una de las dos entradas se activa, operaciones entre dos números naturales o bien la unión de dos palabras para crear una sola frase en el mismo bloque.

El único inconveniente de Labview es que no habilita para poder aumentar o reducir el tamaño de visualización del diagrama de bloques, por lo que cuando se crean códigos muy grandes debidos a su complejidad pueden resultar algo complejos de manejar.

En este apartado detallaremos en que consiste el programa que permite caracterizar el perfil de un haz de forma casi automática. Como es necesario la intervención de varios dispositivos, para no entrar en detalles técnicos se adjuntan en el anexo las fichas técnicas de los diferentes dispositivos.

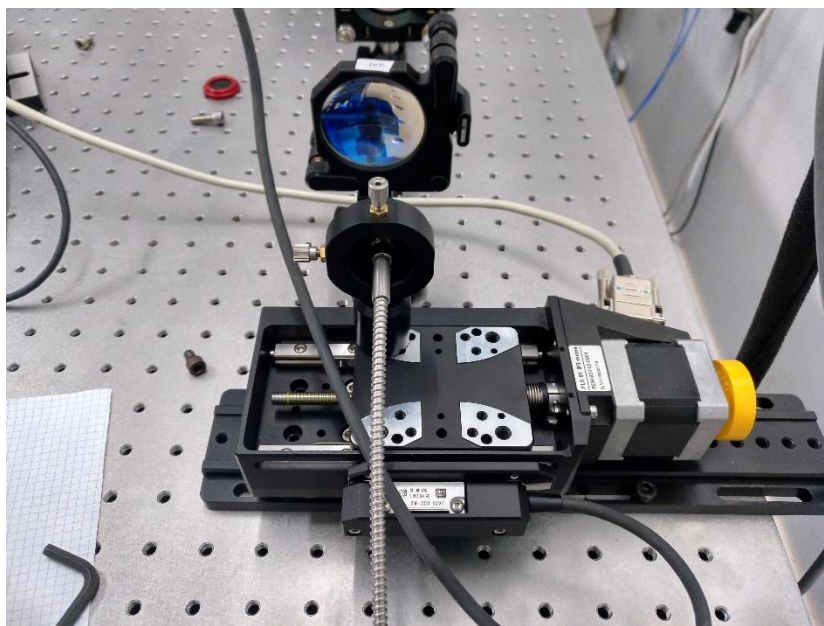
Como ya se explicó en apartados anteriores, la toma de datos requiere de mucho tiempo y pueden ser inexactas debido a que es una persona quien lleva a cabo la manipulación y lectura de los datos. También, debido a la naturaleza del haz, en ocasiones no es posible aplicar cualquiera de los métodos conocidos como también se ha visto anteriormente, por esto, se presenta un resumen de las funciones del programa.

El montaje del láser a estudiar será el mismo que en otras técnicas, usando una lente convergente para reducir el área de trabajo, y se deberá realizar el proceso para cada distinto plano z que se quiera obtener el perfil. Una vez logrado esto utilizaremos:



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

- Motor que es capaz de desplazarse diferenciando hasta nanómetros, marca Pi y modelo Pollux. Leguaje interno, Venus 2.
- Fibra óptica.



*Ilustración 21: Fibra óptica y motor Pollux en el laboratorio*

Presentamos el motor pollux, donde ya tiene incorporada la fibra en la plataforma móvil. Mediante las órdenes que recibe del software, el motor gira la rueda amarilla que tiene para crear la precisión necesaria que se requiere en este tipo de ensayos. Como ya dijimos, es capaz de precisar nanómetros, y puede realizar el movimiento mediante pasos o de forma completa regulando velocidad y aceleración, pero eso es algo que no es necesario en este estudio.

- Fotodiodo acoplado con lector de potencia fotónica marca ThorLab modelo PM200.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



Ilustración 22: Potenciómetro usado en los ensayos

Este es el dispositivo que se acopla a la fibra, que permite medir en tiempo real la potencia que recibe la fibra, o en la técnica del Knife-Edge del fotodiodo directamente.

- Ordenador con Labview para ejecutar el programa.

El procedimiento completo es el siguiente:

Se elige el plano de estudio, tras esto se monta el motor encima de una base que hará de soporte de forma que el soporte sea paralelo al plano z, encima suyo estará acoplada la fibra, de aproximadamente 200 $\mu$ m, cuyo extremo que aún se encuentra libre se conectará con un acoplador al potenciómetro. De esta forma se medirá la potencia en cada instante que incide sobre la fibra. Se debe colocar el motor de tal forma que inicialmente la fibra se encuentre fuera del haz, ya que interesa recorrer el perfil en su totalidad.

Lo que haremos a continuación será establecer cuantos milímetros queremos que el motor recorra, para después darle un paso. Con esto conseguiremos que después de iniciar la marcha el motor recorra una ínfima parte del total del recorrido, logrando así que la fibra se desplace por todo el haz. En cada punto donde el motor pare, la fibra registra un determinado nivel de potencia que aparecerá a su vez en el lector. Todos estos datos serán recogidos por el programa.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Después de que se hayan recogido todos los datos, se ejecutarán dos acciones en paralelo, una de ellas será la transcripción de los datos a un bloc de notas en formato txt. Este bloc, se encontrará dentro de una carpeta en Windows que se crea cada vez que se ejecuta el programa, y así podremos darle nombre a la carpeta.

Dentro del bloc de notas se escribirá la siguiente información:

1. El nombre del archivo que en este caso coincide con el nombre de la carpeta de windows que se crea para guardar la nota de texto.
2. La posición inicial y el valor que se le ha dado.
3. De igual forma que para la posición inicial, la final.
4. Gap que simboliza el paso del motor y su valor.
5. Valores que el potenciómetro ha leído en cada paso.

De esta forma, una vez ejecutado el programa nuestros datos de lectura quedan salvados en un archivo fuera del programa, el cual no se pierde aunque ocurra algo en el software.

La segunda acción que se realiza, consiste en meter en dos arrays, recordemos que un array es una matriz donde columna o fila es la unidad, es decir como un vector. En el primer array se introducirá todas las posiciones recorridas en el eje x por el motor, desde la posición inicial hasta la final. En el segundo array se completará con los datos obtenidos en cada lectura.

Con los datos introducidos en dos arrays, ahora es posible ejecutar una subrutina más dentro de Labview para que realice el cálculo del radio del haz tal como hemos descrito en el apartado anterior.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

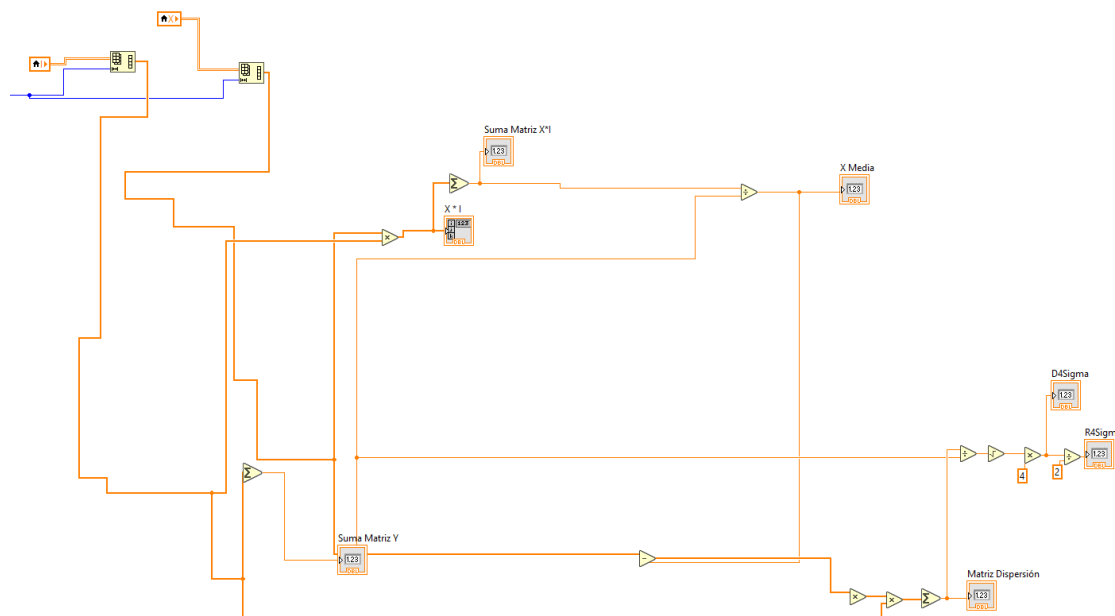


Ilustración 23: Subrutina para el método de cálculo del  $D4\sigma$

Esta imagen corresponde al método de cálculo del radio mediante el método del  $D4\sigma$ .

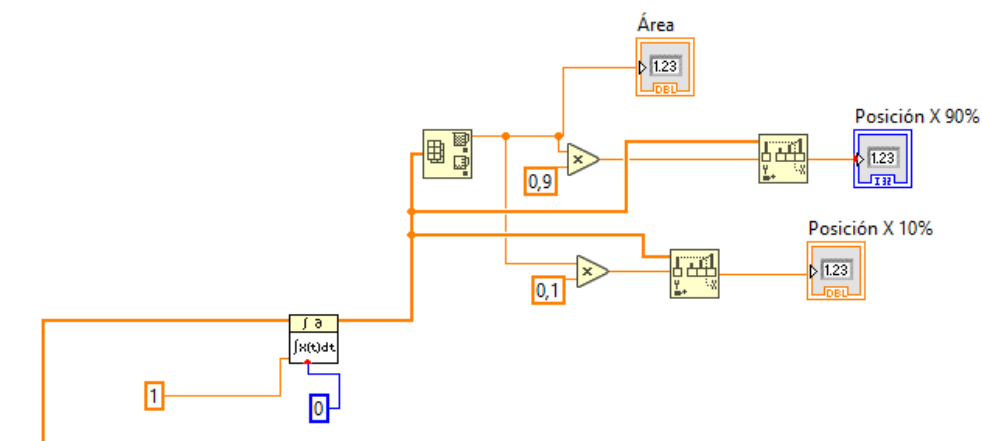


Ilustración 24: Subrutina para el cálculo por el método integral

En este apartado mostramos la subrutina aplicada para que Labview pueda realizar el cálculo del radio por el segundo método. Lo que se extrae de esta imagen es que el array que hace referencia a la potencia, queda capturada por el bloque integrador, el cual dispone de cuatro tipos de integraciones, en nuestro caso corresponde al método de los trapecios.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 7.3 Implementación del sistema automatizado para la medida del láser de helio y neón

En este apartado presentamos el primer resultado, si bien después de muchas pruebas a menor escala, de la funcionalidad del programa creado para automatizar el sistema. Para la primera prueba completa utilizaremos un láser de Helio-Neón.

Debemos advertir que los datos que presentamos en apartados anteriores mediante la técnica Knife-Edge, no muestran como es el perfil del haz para un plano determinado, sino que muestran el radio mínimo de cada plano z, es entonces, que al superponer todos los puntos se obtiene la parábola descrita anteriormente. Como hemos podido comprobar que este láser es Gaussiano, el perfil transversal de la onda electromagnética, debería ser una campana de Gauss.

Después de establecer el montaje, nos situamos a una distancia de la lente de 119 cm. Ejecutamos el programa para que recorra la distancia necesaria en x para tomar los valores de potencia en cada punto.

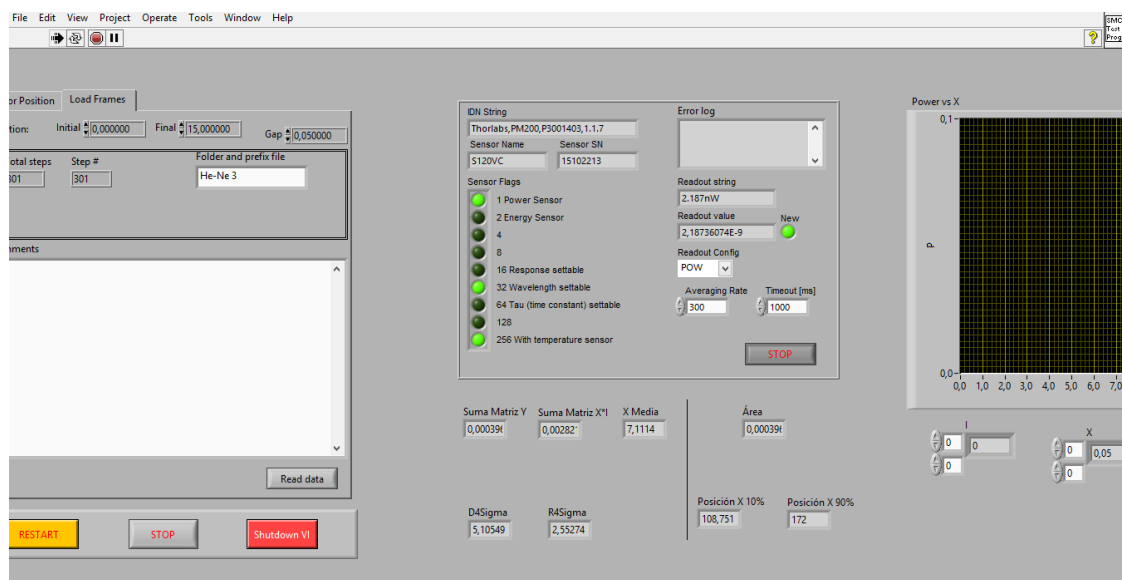


Ilustración 25: Resultados ensayo He-Ne (labview)

Presentamos el resultado del procesamiento de datos obtenido para este ensayo. El nombre de la carpeta corresponde a He-Ne 3, podemos apreciar que se indican también la posición inicial y la posición final además del gap usado. Como nos encontramos con el programa ya ejecutado, el recuadro "total steps" y el número de "steps" coinciden.





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Se ha de tener en cuenta que en este programa, Labview trabaja todas las unidades que representan distancias en mm, ya que no tendría sentido usar escalas mayores. Por otro lado, las unidades de la potencia vienen determinadas por el potenciómetro.

El cuadro central se trata de una traducción del dispositivo de medida (PM200) a Labview, ya que de esta forma podemos controlar varios parámetros tales como la magnitud física que se mide, el tiempo entre medidas, e incluso un pequeño indicador que se enciende cada vez que se toma una nueva medida.

A la derecha encontramos un recuadro que se utiliza para graficar los datos obtenidos, sin embargo es necesario realizarle un escalado cada vez, por ellos vamos a presentar el gráfico en Excel ya que es más visual. Además del gráfico, justo debajo aparecen los arrays X I los cuales si se expanden muestran los valores obtenidos del muestreo, los cuales se encuentran en el anexo.

Por último, debajo del cuadro comando del medidor, tenemos dos zonas delimitadas entre sí, que corresponden a los cálculos que ya explicamos para encontrar el radio del haz. El método que se encuentra en la izquierda corresponde al cálculo estadístico, donde excepto los recuadros de  $D4\sigma$  y  $R4\sigma$  son valores de control para comprobar que no ha habido errores en pasos anteriores al resultado final. Es por lo tanto una primera aproximación del radio con un valor de 2.55 mm o lo que es lo mismo, 5.10 mm de diámetro.

El segundo método consiste en encontrar el área bajo la curva y encontrar las x asociadas a los porcentajes de área. El programa estaba definido para encontrar estos tantos por ciento: 10 y 90, sin embargo como sabemos realmente que este tipo de láser es Gaussiano, hemos cambiado los límites estableciéndolos en 14% y 86%. Lo que obtenemos es el área total y la posición dentro del array que corresponde a las x, por lo tanto es necesario buscar estos valores.

- Para la x situada en el 14% del área, se indica la posición 108,75 lo cual es imposible por lo que cogeremos aquella que corresponde a la 109 ya que entre la posición 108 y 109 no tenemos más datos. La x asociada es 5.35 mm.
- Para el caso del 86% tenemos sin margen de error que la posición es la 172, por lo tanto la x es 8.55 mm.

Para obtener el radio basta con restar las distancias, por lo tanto el radio es 3.2 mm.

Los radios, a pesar que a prior difieren mucho, ambos se encuentran sobre los 2-3 mm es decir que son datos que podrían ser verídicos. El motivo por el cual sean diferentes dentro de este rango se puede deber a varios factores.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Para poder comprender mejor analizamos el gráfico obtenido mediante Excel. Mostraremos un gráfico de un perfil del rayo para un plano  $z = 119$  cm distancia comprendida desde la lente hasta al inicio de la fibra acoplada en el motor.

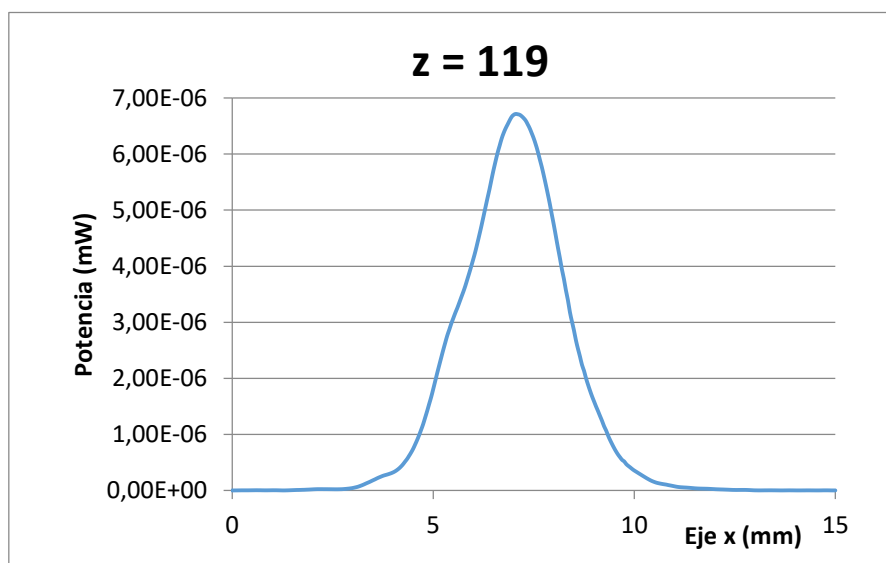


Gráfico 5: Resultado del ensayo de la medida en el láser de He-Ne

Podemos apreciar que hemos obtenido lo que sería una autentica campana de Gauss, si bien con alguna que otra irregularidad propia de toma de datos experimentales. A pesar de todo, podemos decir que el programa ha logrado lo que se esperaba de él, y podemos usarlo para describir el perfil de un láser de semiconductor.

Algunos de los motivos por los cuales los radios no han coincidido mucho pueden ser por los valores extremos de la campana. En el gráfico podemos apreciar que hay muchos valores que son muy cercanos a cero, esto es debido a que la fibra, aunque no se encuentre dentro del haz es capaz de medir la luz residual de los focos de luz que hay en la propia habitación.

Otro aspecto relevante es sobre las  $x$  asociadas a los porcentajes. Cuando buscamos la  $x$  correcta, solo utilizamos aquellos valores producidos por el programa, es decir si por ejemplo el valor asociado a un porcentaje concreto es de  $x = 7,87$  cogeremos de nuestros puntos aquel que más se le acerque.

Para demostrar que este ejemplo no es solamente un caso particular, vamos a presentar otro caso de forma más breve para demostrar que para cada plano  $z$  a lo largo del rayo se cumple el perfil Gaussiano.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

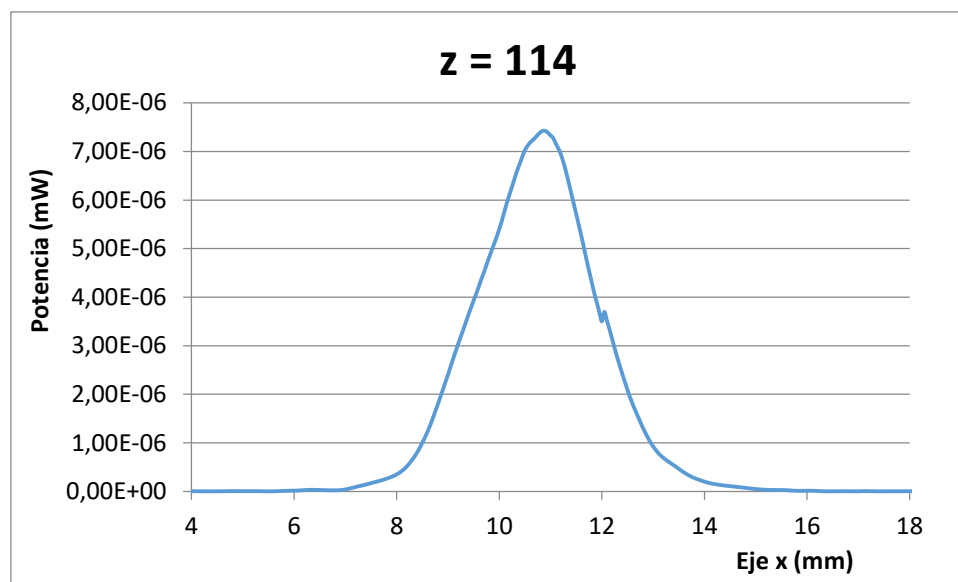


Gráfico 6: Resultado de los ensayos en el láser de He-Ne para otro plano distinto

Este perfil pertenece a un barrido de un plano  $z = 114$  cm desde la lente, algo más cercano al anterior ejemplo. De nuevo, vemos que se perfila una campana de Gauss bastante buena, donde aparecen valores muy cercanos a cero en los extremos hasta estrecharse en el centro en forma de campana.

Si bien en este gráfico en la segunda mitad, podemos apreciar una especie de pico, este es debido a un error en el cálculo del paso final. Para esta medición, se utilizó unos milímetros determinados como punto final pero una vez ejecutado por completo el programa, la fibra todavía se encontraba dentro del perfil, por lo que fue necesario ejecutar de nuevo el programa desde la posición en la que se encontraba para que terminase de realizar todo el recorrido.

Como en esta ocasión se realizaron la toma de datos en dos tramos, los cálculos en Labview no son correctos porque cada vez trabaja con un nuevo array. Por ello, vamos a utilizar dos programas de cálculo diferentes, para calcular el radio  $R4\sigma$  utilizaremos Excel, calculando los sumatorios y el producto matricial. Para no extendernos, damos los resultados habiendo cogido los datos de ambas muestras.

- $R4\sigma = 2.42$  mm
- $D4\sigma = 4.85$  mm



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Esto recoge sentido debido a que en este plano, está más cerca de la zona del radio mínimo, por ello el resultado es algo más pequeño que en el ejercicio anterior, ya que en aquel plano estamos más alejados y como consecuencia el radio aumenta.

Gracias a matlab, hemos recogido los datos del eje x en un vector, y la potencia en otro, y como los tenemos almacenados, podemos recurrir a una función que posee matlab para integrar numéricamente de forma bastante directa. Determinados los vectores de las mismas dimensiones, es posible aplicar el comando “trapz” el cual, realizará una integración por trapecios.

Con el área total buscamos los porcentajes de este valor y vamos integrando por tramos hasta conseguir los valores correctos.

Para este caso los resultados son:

- La posición asociada al 14% del área es la 186 con un valor de desplazamiento x de 9.25 mm.
- La posición asociada al 86% del área es la 243 con un valor de desplazamiento x de 12.10 mm.

El resultado del radio es entonces 2.85 mm lo que se acerca bastante al valor obtenido mediante el otro proceso.

Si bien pueden ser resultado coherentes, entonces podemos pasar a la medición de un láser cuyo perfil no es conocido, y mediante Labview vamos a tratar de buscar su radio mínimo en distinto planos del eje Z.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 7.4 Sistema automático en el láser de semiconductor

El montaje completo del láser de semiconductor precisa de bastante espacio, por lo que el montaje además del láser no permite extraer medidas de muchos planos distintos, pero para poder comprobar su perfil hemos extraído tres planos a distintas distancias. Estos planos son 90, 140 y 190 respectivamente, donde se buscará extraer el radio del haz.

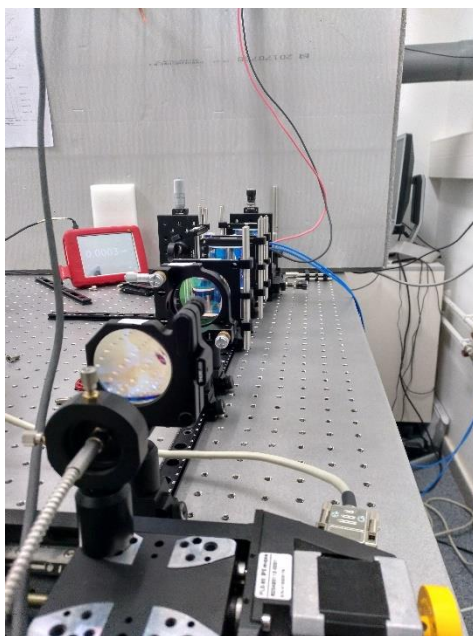


Ilustración 26: Montaje completo de periféricos

Lo que podemos apreciar es el montaje del equipo para la caracterización del láser de semiconductor, la luz del haz proviene del último elemento de la fila, el cual atraviesa los distintos cristales ópticos hasta ir a parar al motor con la fibra acoplada a ella. De fondo vemos el potenciómetro, que está conectado a la fibra y al ordenador de soporte el cual no aparece en esta imagen.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Siguiendo un orden cronológico, vamos a presentar primero los resultados que corresponden al plano  $z = 140$  mm ya que fue donde se realizó la primera medida. Se realizaron un total de 281 puntos, lo que dio resultado al siguiente gráfico:

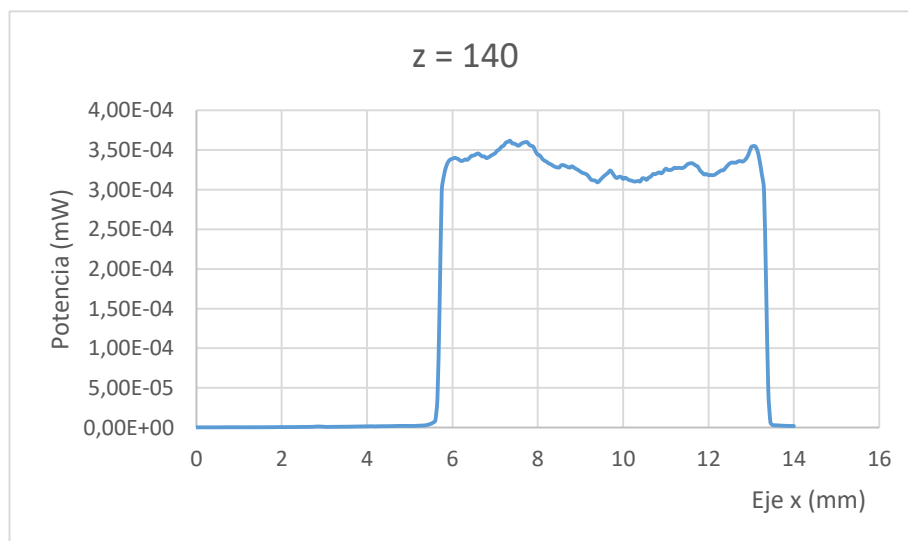


Gráfico 7: Resultados del primer ensayo del láser de semiconductor

Del gráfico que hemos presentado se pueden sacar diversas conclusiones. En primer lugar, que la zona inicial tenga tantos puntos cercanos al cero significa que el motor ha comenzado su trayectoria muy lejos del haz. Como se esperaba, no es posible crear semejanzas claras con un perfil Gaussiano debido a sus irregularidades a lo largo del perfil.

Algo muy particular son los valores extremos del gráfico, ya que se experimentan picos de energía. Cuando la fibra comienza a entrar en el haz, experimenta un cambio brusco de energía, lo que explica ese enorme salto que se produce cerca de los 6 milímetros. Lo mismo sucede para la zona cercana a los 14 milímetros, donde de repente, el nivel de energía desciende drásticamente.

Concluimos pues que nuestro láser de semiconductor, para este plano, experimenta un pico energético en el principio, mientras que en la zona central, decrece esta energía ligeramente, para luego estabilizarse en un rango elevado, terminando con un descenso pronunciado. A diferencia del láser de helio neón, donde la energía máxima se encontraba en el centro del haz de luz, podemos apreciar como aquí es todo lo contrario. Las zonas de mayor energía se dan en los extremos y existe una zona muy pequeña donde la energía cambia rápidamente a diferencia del láser Gaussiano donde esta va creciendo o decreciendo a un ritmo más bajo.

Ahora pasamos a introducir los cálculos que se han podido extraer de Labview:



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

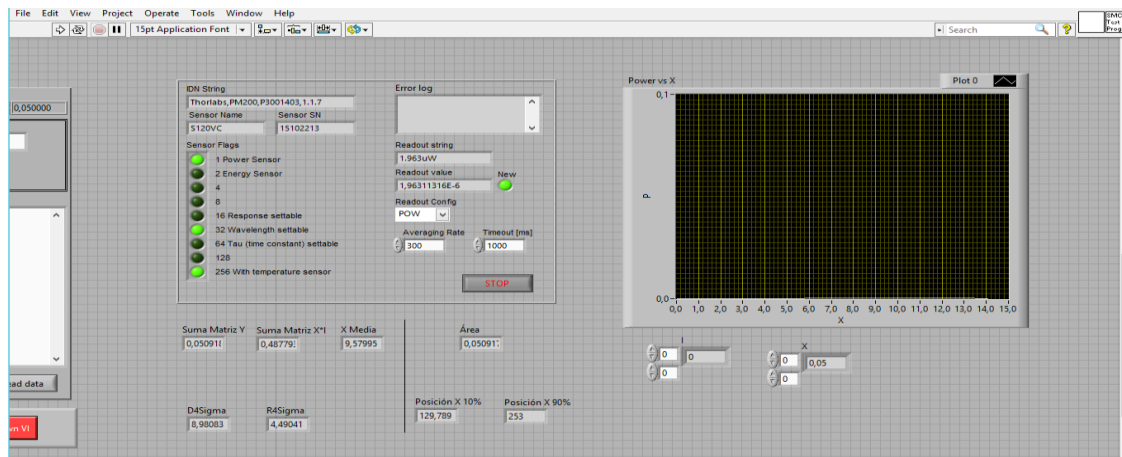


Ilustración 27: Resultados del primer ensayo en el láser de semiconductor (labview)

Los resultados obtenidos mediante el método estadístico son los siguientes:

$$R4\sigma = 4.49 \text{ mm}$$

$$D4\sigma = 8.98 \text{ mm}$$

Para el caso del método integral obtenemos:

- La x que pertenece al a la posición 130 que corresponde al 10% del área total tiene un valor de 6.45 mm.
- La x que pertenece al 90% del área es la 253 con un valor de 12.6 mm.

Esto da lugar a que el radio del haz sea igual a 6.15 mm.

En este caso la diferencia es considerable entre los dos métodos, es ahora cuando podemos plantear la siguiente cuestión. ¿Es posible que debido a todos esos valores cercanos a cero que aparecen en la gráfica alteren los resultados? La respuesta es sí y no.

Como vamos a demostrar ahora, para el método estadístico es posible refinar el valor si tomamos solo aquellos valores que realmente aportan información, sin embargo esto no ocurre en el método integral esto es porque para este método, aquellos puntos con unos valores muy cercanos a cero, tienen una contribución muy pequeña y por lo tanto al obtener el radio, el valor apenas cambia.

El gráfico resultante de acortar valores por el cual se han reaplicado los métodos es el siguiente:





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

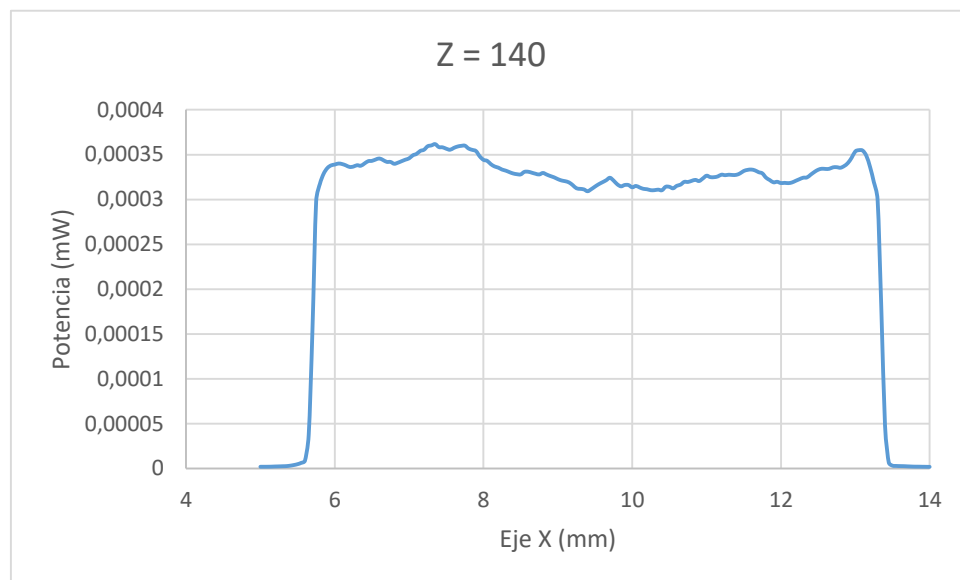


Gráfico 8: Filtrado de los datos obtenidos del primer ensayo

Vemos el mismo gráfico que le anterior pero en este caso, con menos valores, para demostrar que ocurre si solo utilizamos un rango determinado. Sin más preámbulos, los valores del método estadístico son:

- $R4\sigma = 4.46$  mm.
- $D4\sigma = 8.92$  mm.

A pesar de que los cambios aparezcan en el segundo decimal, resulta un hecho significativo ya que al trabajar en unidades tan pequeñas, modificaciones de este calibre pueden afectar significativamente al estudio. Por otro lado el método integral da como resultado:

- La x que corresponde al valor más próximo del 10% se encuentra en algún punto entre el 6.4 y el 6.45 con lo cual, al no disponer de un valor concreto, utilizamos aquel que se aproxima más, el cual es 6.45.
- La x del 90% es entonces con exactitud 12.6.

Para este caso vemos que los valores que podemos obtener son idénticos a los obtenidos mediante el programa. La conclusión que surge de estos resultados es la siguiente: a pesar de que los valores entre métodos puedan ser ligeramente diferentes, quizás, prevalezca la utilidad ya que realizar los cálculos mediante Matlab y Excel para cada plano z resulta complicado.

Si queremos desarrollar los datos de manera más precisa, esto implica obtener los datos para luego procesarlos, y no poder hacerlo de manera automática, ya que cada vez que



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

realizamos una medición es necesario determinar por nosotros mismos los puntos que vamos a utilizar, esto implica que el proceso para automatizar sea prácticamente imposible, cuando lo que buscamos es realizar las mediciones de una forma más automática.

Hemos de decidir pues si preferimos realizar una medida más precisa, o por el contrario, realizar varias de ellas de forma más rápida, todo ello depende de la necesidad que se requiera.

El siguiente plano a estudiar es el que corresponde a  $z = 190$  mm cuyo gráfico es el siguiente:

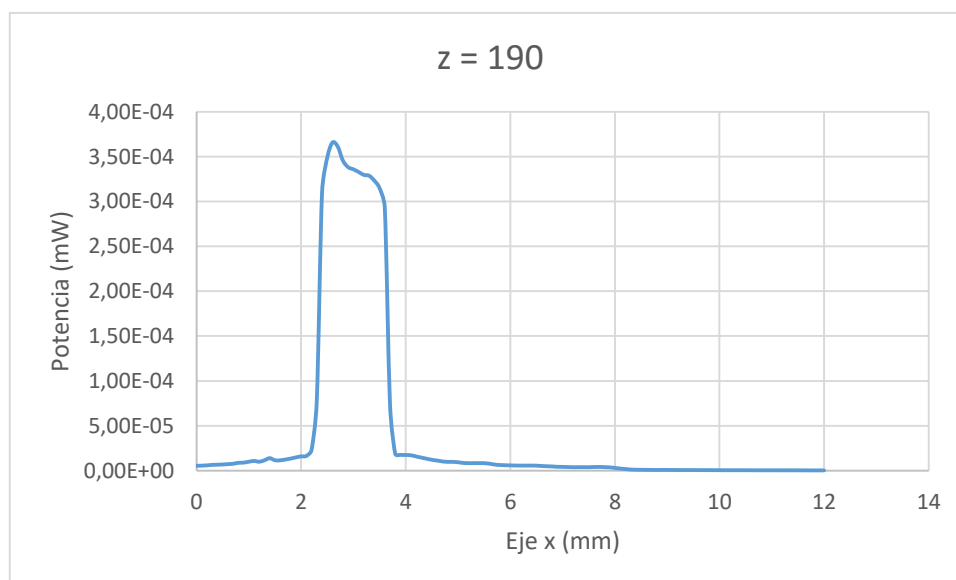


Gráfico 9: Resultados del segundo ensayo en el láser de semiconductor

El gráfico de este plano, presenta la similitud de los picos de subida y bajada que ya existían anteriormente, lo que quiere decir que hemos de imaginarnos que alrededor del exterior es donde se concentra más energía. Por otro lado, aquí la anchura de la curva es muy pequeña, alrededor de 2 o 3 mm, esto significa que nos estamos acercando a la zona de radio mínimo, ya que se ha reducido considerablemente el tamaño de este.

Tras la ejecución del programa obtenemos los resultados siguientes:



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

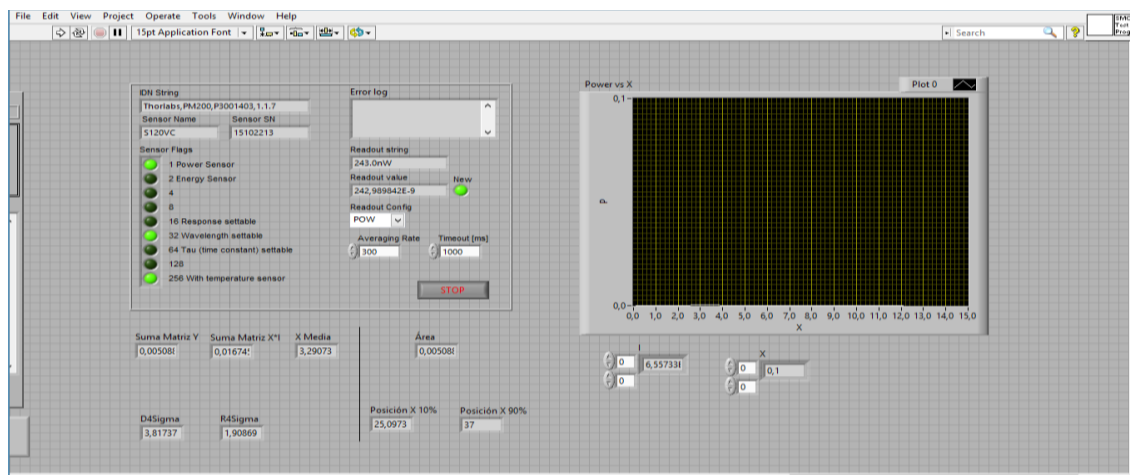


Ilustración 28: Resultados del segundo ensayo (labview)

Como esperábamos, los valores en este caso son más pequeños, y por lo tanto queda reflejado como:

- $R4\sigma = 1,90$  mm.
- $D4\sigma = 3,81$  mm.

Por lo que respecta al método integral tenemos:

- La posición x del porcentaje pequeño es la 25, cuyo valor de desplazamiento es 2,4 mm.
- La posición x del porcentaje mayor es de 37, donde el valor aquí es 3,6 mm.

Por lo tanto el radio en este plano mediante este método es de 1.2 mm.

En esta ocasión a diferencia de todos los anteriores casos, el método integral ha obtenido un valor más bajo que el método estadístico, es por ello que es necesario ejecutar los cálculos mediante Excel y Matlab, ya que como se puede apreciar, sobre todo en este caso existen muchos puntos que podrían ser removidos ya que la información que puedan llegar a aportar puede traducirse en errores de resultados.

Presentamos entonces el nuevo gráfico con puntos reducidos:



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

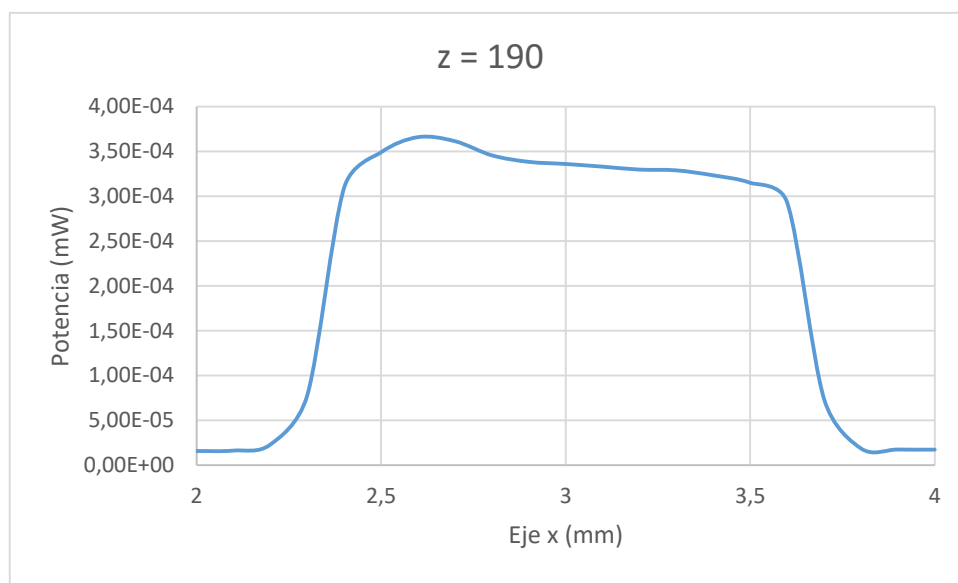


Gráfico 10: Filtrado de datos del segundo ensayo

A pesar de que el número de puntos se haya reducido considerablemente, podemos seguir calculando el radio de este plano, cuyo valor no debería ser muy diferente al obtenido anteriormente y el cual debe ser pequeño en comparación a otros ya que la luz del haz en este caso está bastante más focalizado.

Mediante la estadística, obtenemos los resultados siguientes:

- $R4\sigma = 0.81$  mm.
- $D4\sigma = 1.61$  mm.

Mientras que integrando, a pesar de utilizar menos puntos, la contribución total sigue siendo muy pequeña y por ello, obtenemos de nuevo las mismas  $x$  que mediante Labview, obteniendo así que el radio del haz es de 1,2 mm.

Sorprendentemente, para el método donde se emplea la estadística, hemos reducido considerablemente su valor, de forma más concreta, desde 1,90 hasta 0,81, ¡Más de un milímetro! Esto reafirma nuestra conclusión: que utilizando este camino es obligatorio discernir entre los puntos que proporcionan información y aquellos que no contribuyen y por tanto deben ser excluidos.

Durante estos dos experimentos, las condiciones de ensayo han sido las mismas, es por ello que el tercer ejemplo se han variado dos aspectos que pueden ser fundamentales para el estudio.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

En este nuevo caso, se han variado el número de puntos, si bien tanto en los ejemplos del láser de helio neón y como los del semiconductor, el número de puntos totales ha oscilado entre 100-300 puntos, en este caso son casi 3000. Por otro lado, como ya dijimos de forma anterior, es posible que la fibra recoja luz residual de las luminarias que se encuentran en el laboratorio, por ello, este ejemplo se ha realizado reduciendo considerablemente la cantidad de luz de la sala, habiendo solamente la luz residual del cuarto contiguo, el cual estaba separado por una puerta, y las luces generadas por la pantalla del programa y del potenciómetro, los cuales pueden considerarse muy pequeñas en comparación.

Para el último caso, se ha tomado como plano  $z = 90$  mm y el resultado es el siguiente:

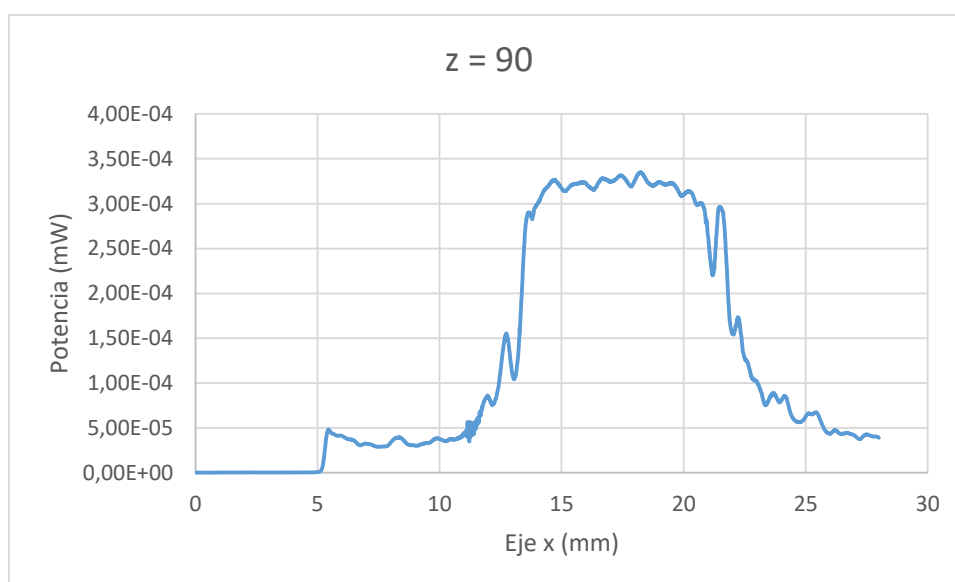


Gráfico 11: Resultados del tercer ensayo en el láser de semiconductor

Este último gráfico requiere de algunos aspectos que hasta ahora no han sido necesarios comentar. En primer lugar por primera vez, entre los 10 y 15 mm observamos que existe una zona concentrada donde no se puede apreciar de forma correcta cual es la potencia para cada punto, las posibles causas pueden deberse a la saturación de la fibra, o a un excesivo uso de puntos, lo que genera que se tomen más datos de los necesarios.

Otro aspecto a destacar es sobre la energía repartida del haz, ya que en este caso podemos apreciar que la zona con mayor energía se encuentra en el sector medio del rayo, lo que significa que está más concentrado. Se puede apreciar también, que existen picos puntuales en determinadas zonas, lo que podría explicarse con los sucesos ocurridos durante el ensayo.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

Como en este caso el proceso se demoraba mucho, hubo algunas entradas y salidas en la sala, lo que provocó que la luz de la habitación contigua contaminara la muestra, algo que podría explicar estos picos repentinos en zonas aparentemente aleatorias.

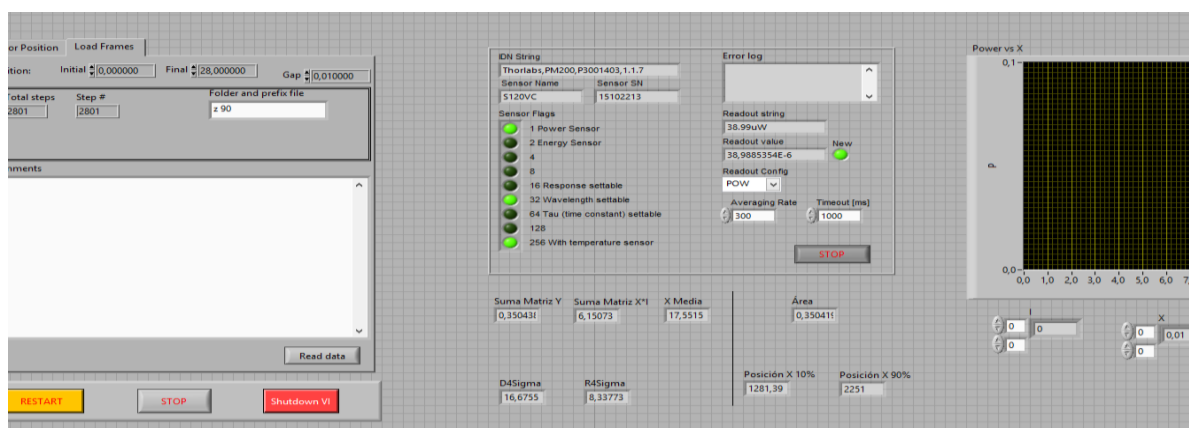


Ilustración 29: Resultados del tercer ensayo (labview)

A pesar de que existen valores prácticamente nulos, presentamos ahora los cálculos surgidos al final de la ejecución de esta medida.

Como cabía esperar, los datos nos dan unos primeros indicios de que el resultado será un radio grande, ya que como se puede observar en el gráfico, contiene una amplitud elevada.

- $R4\sigma = 8.33 \text{ mm}$ .
- $D4\sigma = 16.67 \text{ mm}$ .

Denotamos que un diámetro de casi 17 mm podría corresponderse al resultado gráfico, sin embargo, podemos afinar más esta medida si recurrimos a recalcular los valores extrayendo de la muestra completa aquellos que pueden no ser representativos, pero no sin antes presentar los datos obtenidos mediante integración automática.

- Para  $z$  del 10% tenemos una posición de 1281 aproximadamente, lo cual corresponde a un valor de 12.82 mm.
- En la  $z$  del 90% tenemos una posición encontrada de 2251, lo cual corresponde a un valor de 22.5 mm.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

El resultado pues del radio del rayo obtiene un total de 9.68 mm de radio o lo que es lo mismo, unos 19.36 mm de diámetro, un poco más mayor que el cálculo estadístico, el cual parece no encajar tan bien como el método integral.

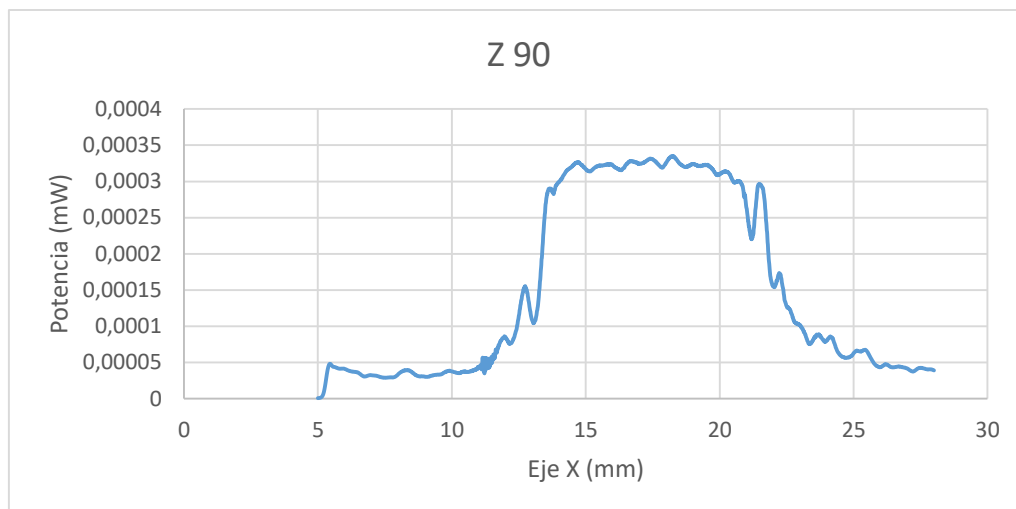


Gráfico 12: Filtrado del tercer ensayo

Al no disponer del tramo final del gráfico, el corte por el límite inferior que podemos hacer es reducido. Mientras que integrando por partes hemos llegado al mismo resultado, mediante el otro método, hemos obtenido:

- $R4\sigma = 8.14$  mm.
- $D4\sigma = 14.63$  mm.

En ninguno de los dos métodos no hemos podido precisar más de aquello que ya habíamos obtenido, esto nos induce a pensar que para estudiar perfiles de haces lumínicos como estos, utilizando mediciones de entre 150 y 300 puntos por plano, son más que suficientes para perfilar de forma bastante aproximada el haz de luz y obtener a posteriori su radio, por lo tanto, esta medición lo es lo suficientemente válida para tomarla en consideración como las demás.



|  |                          |
|--|--------------------------|
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br><b>Escola Superior d'Enginyeries Industrial,</b><br><b>Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</b> | <b>Fecha:</b> 10-09-2018 |
|  | <b>Pág.:</b> 55          |
|  | <b>Código:</b> 1894      |
| <b>Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en<br/>láseres de diodos de alta potencia</b>  |                          |

## 8. Conclusiones y continuidad

Es posible lograr distintas conclusiones después de analizar todo lo dicho anteriormente, comenzando por la introducción a la fotónica.

Después de tiempo de aprendizaje sobre las leyes que rigen un campo de la física como es la fotónica, es fácilmente perceptible que aún queda mucho por hacer con lo que respecta al desarrollo de este campo. A pesar de que pueda parecer que ya existen tecnologías que apliquen la fotónica, el hecho de que no existan diferentes métodos para poder conocer como es un perfil de ciertos tipos de láseres es una razón de peso para ver que aún queda mucho por hacer.

Hoy en día ya es apreciable la cantidad de aplicaciones que puede tener la fotónica en general, sobre todo en campos como la medicina o la electrónica, poder mejorar la calidad de los haces mejoraría aún más su desarrollo, es por esto que se hace necesario el estudio sobre como caracterizar los perfiles.

Como ya se ha podido comprobar técnicas como el Knife-Edge resultan útiles bajo ciertas condiciones y resulta una forma fiable caracterizar un perfil conocido y poder obtener el  $M^2$  siempre y cuando la potencia del láser no sea muy alta. Gracias a esta técnica, es posible obtener el radio de un plano perpendicular al haz tomando las posiciones que corresponden al 14% y 86% del área cuando este es Gaussiano, cuando no lo es, sabemos que podemos obtener una aproximación de este tomando los puntos de referencia del 10% y el 90%.

Después de esta metodología, podríamos considerar pues, que el uso de la cámara CCD junto con el software que porta resulte quizás una mejor alternativa al Knife-Edge ya que permite realizar medidas más precisas. Se puede obtener el diámetro de dos formas distintas lo que permite contrastar dichos valores para verificar que realmente la cámara mide de forma correcta. A pesar del uso de filtros, se ha podido comprobar que a potencias elevadas los píxeles de la cámara sufren de saturación y no pueden realizar un análisis claro, es por ello que era necesario la creación de un nuevo método para poder emplearlo en láseres que tuvieran más potencia.

La idea de utilizar una fibra óptica para coleccionar luz en un punto muy pequeño permite evitar que el uso de potencias elevadas interrumpa las mediciones. Para poder hacerlo era necesario el uso de un objeto capaz de desplazarse distancias muy pequeñas con lo cual es ideal la utilización de un motor como el presentando en este estudio. Poder utilizar todos los elementos necesarios para crear un nuevo sistema de caracterización requiere de un software algo complejo en una plataforma Labview.



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

La razón de que se utilizara el lenguaje gráfico de Labview y no otro como podría haber sido C++, java... era que con el motor pollux ya existía una pequeña subrutina que permitía controlarlo mediante Labview.

A partir de la base de este pequeño programa se diseñó todo el resto, para lograr una automatización casi completa para realizar mediciones en perfiles de láseres. La mayor parte de la dedicación de este proyecto erradica pues en la creación de este software ya que fueron necesarias la intervención de distintas personas para llegar a la solución actual.

Analizando los datos obtenidos expuestos en este documento, podemos concluir aspectos para dar al programa un posible uso en el futuro. El objetivo de caracterizar perfiles de láseres de semiconductor ha sido posible, tal como vemos en los gráficos punto a punto. Por lo tanto podemos decir que hemos conseguido llegar a uno de los objetivos de este trabajo. Después del uso reiterado del programa para caracterizar distintos perfiles de luz láser podemos destacar algunos puntos que son de relevancia de cara a futuros usos.

En primer lugar es necesario disponer de una zona de trabajo amplia, ya que debido a esto, en el láser de semiconductor no ha sido posible obtener el ángulo de divergencia para posteriormente sacar el factor del  $M^2$ . En segundo lugar tiene que ver con un problema de hardware en el sistema y es que durante uno de los ensayos, el motor pollux sufrió una avería, la cual impedía que este retrocediera y por lo tanto, después de cada medida se debía volver a su posición original a mano, lo cual no es una automatización completa.

También se ha podido comprobar que obtener puntos de más realmente no es tan relevante ya que se registran potencias muy cercanas a cero y puede hacer variar el resultado obtenido por el programa. Si bien el método integral no se ve muy afectado por esto, sí que puede resultar muy útil ajustarse lo máximo posible al perfil antes de realizar la medida. Para tener una idea, según el tamaño del láser, como mucho deberían emplearse entre 250 y 300 puntos como máximos para aquellos láseres con mayor diámetro.

Con respecto a la continuidad del estudio, el programa y el sistema de medición podrían mejorarse en dos aspectos. El primer aspecto sería el reemplazo del motor averiado para poder realizar retrocesos de forma automática, ya que así podríamos medir cada plano perpendicular dos veces. En segundo lugar, se planteó la posibilidad de utilizar dos motores con la finalidad de poder medir el perfil en dos direcciones, es decir, para cada plano perpendicular al rayo se podría definir una altura pudiendo así caracterizar el perfil del láser en dos dimensiones.

En definitiva el objetivo principal del trabajo se ha podido llegar a cumplir, el cual ha permitido dejar una pequeña ventana abierta para la mejora del método y un posible uso como método válido en un futuro.

|  |                          |
|--|--------------------------|
|  <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA</b><br><b>BARCELONATECH</b><br><b>Escola Superior d'Enginyeries Industrial,</b><br><b>Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa</b> | <b>Fecha:</b> 10-09-2018 |
|  | <b>Pág.:</b> 57          |
|  | <b>Código:</b> 1894      |
| <b>Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en<br/>láseres de diodos de alta potencia</b>  |                          |

## 9. Bibliografía

- [1] «Ley de Gauss - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Gauss](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gauss)
- [2] «Ley de Faraday - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Faraday](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Faraday)
- [3] «Ley de Ampère - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Amp%C3%A8re](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Amp%C3%A8re)
- [4] «Ecuación de onda electromagnética - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n\\_de\\_onda\\_electromagn%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_onda_electromagn%C3%A9tica)
- [5] G. Basilio Sánchez, «Del LASER I Principio de funcionamiento del láser».
- [6] B. A. Fernández, I. A. Tobalina, R. B. Varillas, y A. C. Salazar: El láser, la luz de nuestro tiempo. 2010.
- [7] J. F. Turull Silvestre, Chapter I2: Basic Models for optical Beams
- [8] T. F. Johnston, «Beam propagation ( $M^2$ ) measurement made as easy as it gets: the four-cuts method», Appl. Opt., vol. 37, n.o 21, pp. 4840-4850, 1998.
- [9] B. Diameter, «Litron News & Updates All the latest news & updates from one of the world's leading laser manufacturers», pp. 17-18, 2014.
- [10] C. S. Money, «Screen shot of a flat-top beam image Image of dialog box for flat-top calculations», pp. 1-5.
- [11] W. Paper, «Mode Quality ( $M^2$ ) Measurement Improves Laser Performance», n.o 800, pp. 1-5.
- [12] J. Trägårdh et al., «A simple but precise method for quantitative measurement of the quality of the laser focus in a scanning optical microscope.», J. Microsc., vol. 259, n.o 1, pp. 66-73, jul. 2015
- [13] «Cámara CCD :principio». Disponible en: <https://media4.obspm.fr/public/VAU/instrumentacion/instrumento/ccd/camaracd/APPRENDRE.html>. [Accedido: 15-may-2018].

**ESEIAAT**

Trabajo de Final de Grado



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Fecha de entrega: 10 de septiembre de 2.018

Estudiante: Carlos Aguado

Directora: Crina Cojocaru

Codirector: Ramón Vilaseca

# Índice

|    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 1. | Presupuesto .....            | 1 |
| 2. | Viabilidad del estudio ..... | 4 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 1. Presupuesto

A continuación queda presentado el presupuesto que conllevaría la realización del proyecto.

| Presupuesto  |          |    |   |          |           |             |
|--|----------|----|---|----------|-----------|-------------|
| Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia |          |    |   |          |           |             |
| Código   | NatC     | Ud | Resumen   | CanPres  | Pre/u     | ImpPres     |
| 01   | Capítulo |    | LÁSERES   | subtotal |           | 17,000.00 € |
|  | Partida  | u  | Láser Helio-Neón  | 1.000    | 5,000.00  | 5,000.00 €  |
|  |          |    | Unidad completa para la generación de un haz de luz láser mediante medio activo de Helio y Neón. Cedido por grupo de investigación DONLL UPC Terrassa               |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Láser de Semiconductor  | 1.000    | 12,000.00 | 12,000.00 € |
|  |          |    | Unidad completa para la generación de un haz de luz láser mediante medio activo de compuestos semiconductores. Cedido por grupo de investigación DONLL UPC Terrassa |          |           |             |
| 02   | Capítulo |    | APARATOS DE MEDIDA  | subtotal |           | 5,046.05 €  |
|  | Partida  | u  | Potenciómetro   | 1.000    | 1,507.59  | 1,507.59 €  |
|  |          |    | Potenciómetro marca Thorlabs modelo PM200   |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Fotodiodo   | 1.000    | 385.71    | 385.71 €    |
|  |          |    | Fotodiodo acoplado mediante clabe vga a potenciómetro marca Thorlabs modelo S120V and Flip Mount  |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Fotodiodo para acomplado con fibra  | 1.000    | 84.14     | 84.14 €     |
|  |          |    | Fotodiodo acoplado mediante clabe vga a potenciómetro marca Thorlabs modelo S120V and Flip Mount  |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Fibra 2m  | 1.000    | 68.61     | 68.61 €     |
|  |          |    | Conexión de fibra de longitud 2 metros monomodo con un rango entre 320-430 nm   |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Cámara CCD  | 1.000    | 3,000.00  | 3,000.00 €  |
|  |          |    | Conjunto formado por Cámara CCD y filtros para medición del láser de semiconductor  |          |           |             |
| 03   | Capítulo |    | AUTOMATIZACIÓN  | subtotal |           | 3,700.00 €  |
|  | Partida  | u  | Motor Pollux  | 1.000    | 3,000.00  | 3,000.00 €  |
|  |          |    | Conjunto comprendido de bandeja XY stage, y controlador SMC pollux series   |          |           |             |
|  | Partida  | u  | Ordenador   | 1.000    | 300.00    | 300.00 €    |
|  |          |    | Ordenandor con programa creado a partir de Labview para control de proceso  |          |           |             |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                             |                 |   |                 |                   |                   |
|-----------------------------|-----------------|---|-----------------|-------------------|-------------------|
| Partida                     | u               | Licencia Labview  | 1.000           | 400.00            | 400.00            |
|                             |                 | Compra de licencia de software Labview para su uso oficial  |                 |                   | €                 |
| <b>04</b>                   | <b>Capítulo</b> | <b>ACCESORIOS</b>   | <b>subtotal</b> |                   | <b>3,137.57 €</b> |
| Partida                     | u               | Lente convergente   | 3.000           | 66.22             | 198.66            |
|                             |                 | Lente para la concentración del haz de luz  |                 |                   | €                 |
| Partida                     | u               | Soporte para fotodiodo  | 2.000           | 31.57             | 63.14             |
|                             |                 | Soporte vertical y/o horizontal para realizar montaje de medida   |                 |                   | €                 |
| Partida                     | u               | Carril guía   | 1.000           | 25.77             | 25.77             |
|                             |                 | Carril guía para soportar y dirigir motor pollux  |                 |                   | €                 |
| Partida                     | u               | Mesa Antivibratoria   | 1.000           | 2,850.00          | 2,850.00 €        |
|                             |                 | Mesa antivibratoria con cámara de aire y agujeros en parte superior para realiar montajes in situ             |                 |                   |                   |
| <b>05</b>                   | <b>Capítulo</b> | <b>INGENERÍA</b>  | <b>subtotal</b> |                   | <b>4,160.00 €</b> |
| Partida                     | h               | Estudio preliminar  | 45.000          | 12.00             | 540.00            |
|                             |                 | Dedicación a estudio de las necesidades del proyecto y aprendizaje sobre el campo de estudio                  |                 |                   | €                 |
| Partida                     | h               | Ensayos manuales  | 55.000          | 10.00             | 550.00            |
|                             |                 | Ensayos manuales realizados in situ en el laboratorio mediante técnicas no automatizadas y posterior análisis |                 |                   | €                 |
| Partida                     | h               | Programación de Software  | 70.000          | 22.00             | 1,540.00 €        |
|                             |                 | Creación e implementación del software labview necesario para automatizar el proceso                          |                 |                   |                   |
| Partida                     | h               | Estudio Final   | 85.000          | 18.00             | 1,530.00 €        |
|                             |                 | Estudio con datos recopilados tras analizar sistemas con el nuevo método                                      |                 |                   |                   |
| <b>TOTAL COSTE PROYECTO</b> |                 |   |                 | <b>33,043.62€</b> |                   |

El presupuesto se encuentra desglosado en capítulos según el tema. En primer lugar se debería considerar que a pesar del elevado coste de los equipos láser, no se tratan de herramientas habituales, ya que estos equipos se utilizan para realizar investigación, por lo tanto es lógico pensar que para las posibles aplicaciones que se le puedan dar, es un precio considerable.





## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

Los siguientes capítulos hacen referencia al material auxiliar necesario para llevar a cabo el estudio, objetos tales como: el potenciómetro, el fotodiodo o la mesa antivibratoria son utensilios pensados y desarrollados solo para tener un fin científico y no obtener un beneficio de ellos, si bien de forma directa. Estos materiales han sido cedidos por la Universidad Politécnica de Terrassa, del grupo de investigación DONLL, los cuales no han sido necesarios comprarlos.

Por otro lado tenemos el trabajo ingenieril realizado, el cual antes del tiempo empleado tiene un coste adicional. Este coste deriva del equipo necesario para la utilización de Labview. Son necesarios un ordenador portátil, el software Labview y por supuesto la licencia de dicho programa. Durante este proyecto, se ha realizado con un ordenador personal y un programa oficial bajo licencia UPC.

Por último queda el desglose de horas de trabajo empleadas. Pueden ser divididas tal como dicta el presupuesto:

- Una primera dedicación para entrar en materia y adquirir los conocimientos necesarios sobre el campo del electromagnetismo y la fotónica, fundamentales para el desarrollo de este estudio.
- En segundo lugar tenemos en cuenta aquellas medidas realizadas manualmente o con la cámara CCD, donde se tomó las medidas necesarias directamente en los láseres, para luego procesarlos.
- En tercer lugar destacamos todo el tiempo dedicado al software. Dentro de este grupo destacamos las horas invertidas para conocer el funcionamiento del propio programa y las necesarias para su desarrollo.
- Por último hacemos referencia al tiempo invertido a la creación de los documentos presentados.



## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

### **2. Viabilidad del estudio**

Apreciamos que el coste es de una cifra considerable, sin embargo no se ha de olvidar que se trata de un estudio. Este desarrollo surge de la necesidad de existente de descubrir un nuevo procedimiento, descubrir nuevos horizontes en la ciencia o profundizar en un tema como es la fotónica.

Si se tratase de la fabricación y venta de algún producto o servicio, sería complicado encontrar un grupo de clientes y en muchas ocasiones se deberían buscar inversores ya que el coste es elevado.

Por otro lado, sí que existe la posibilidad de estudiar si es factible comercializar el software. Como se ha desarrollado un nuevo método para caracterizar los perfiles de láseres el cual es innovador pudiera darse el caso que se pudiera vender el programa para que otros grupos de investigadores lo utilizaran. Para ello sería necesario llegar a un acuerdo comercial con la empresa que comercializa con Labview ya que debería ser ella quien comprase este programa para su posterior venta.

En cualquier caso sería conveniente realizar mejoras continuas sobre el programa para mejorar aspectos que pudiesen fallar o también incluso mejorarlo para ofrecer un mejor uso como sería la incorporación de otro motor para poder realizar mediciones en dos ejes o bien poder realizar todo lo que implica la toma y procesado de datos de una sola vez de forma totalmente automatizada con acceso a todos los datos tomados, por si se requiere un análisis en profundidad.

**ESEIAAT**

Trabajo de Final de Grado



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

## **Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia**

Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Fecha de entrega: 10 de septiembre de 2.018

Estudiante: Carlos Aguado

Directora: Crina Cojocaru

Codirector: Ramón Vilaseca

# Índice

|    |                       |     |
|----|-----------------------|-----|
| 1. | Datos .....           | 1   |
| 2. | Cálculos .....        | 103 |
| 3. | Fichas Técnicas ..... | 105 |
| 4. | Código Labview .....  | 122 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 1. Datos

Datos obtenidos a partir de la técnica del Knife-Edge en el láser de Helio- Neón

| EJE Z (mm) | POTENCIA TOTAL (mW) | x en 14%P | x en 86%P | $\Delta x$ (mm) | w(z)  |
|------------|---------------------|-----------|-----------|-----------------|-------|
| -130       | 10.050              | 13.360    | 13.760    | 0.400           | 0.408 |
| -120       | 10.050              | 13.325    | 13.675    | 0.350           | 0.378 |
| -110       | 10.000              | 13.300    | 13.615    | 0.315           | 0.347 |
| -100       | 10.026              | 13.270    | 13.570    | 0.300           | 0.317 |
| -90        | 10.050              | 13.250    | 13.515    | 0.265           | 0.286 |
| -80        | 10.040              | 13.215    | 13.460    | 0.245           | 0.256 |
| -70        | 10.900              | 13.190    | 13.405    | 0.215           | 0.226 |
| -60        | 10.050              | 13.170    | 13.350    | 0.180           | 0.197 |
| -50        | 10.030              | 13.145    | 13.295    | 0.150           | 0.168 |
| -40        | 10.030              | 13.109    | 13.245    | 0.136           | 0.140 |
| -30        | 10.120              | 13.090    | 13.200    | 0.110           | 0.113 |
| -20        | 10.090              | 13.060    | 13.150    | 0.090           | 0.090 |
| -10        | 10.100              | 13.035    | 13.110    | 0.075           | 0.072 |
| 0          | 10.120              | 13.000    | 13.065    | 0.065           | 0.065 |
| 10         | 10.100              | 12.950    | 13.040    | 0.090           | 0.072 |
| 20         | 10.220              | 12.910    | 13.020    | 0.110           | 0.090 |
| 25         | 10.090              | 12.870    | 12.990    | 0.120           | 0.101 |
| 30         | 10.090              | 12.850    | 12.985    | 0.135           | 0.113 |
| 40         | 10.110              | 12.790    | 12.960    | 0.170           | 0.140 |
| 50         | 10.113              | 12.749    | 12.941    | 0.192           | 0.168 |
| 55         | 10.120              | 12.720    | 12.930    | 0.210           | 0.182 |
| 60         | 10.150              | 12.690    | 12.920    | 0.230           | 0.197 |
| 70         | 10.120              | 12.670    | 12.915    | 0.245           | 0.226 |
| 80         | 10.190              | 12.430    | 12.810    | 0.380           | 0.256 |
| 90         | 10.120              | 12.380    | 12.785    | 0.410           | 0.286 |
| 100        | 110.160             | 12.370    | 12.770    | 0.450           | 0.317 |
| 110        | 10.250              | 12.260    | 12.730    | 0.470           | 0.347 |
| 120        | 10.140              | 12.220    | 12.710    | 0.490           | 0.378 |
| 130        | 10.150              | 12.160    | 12.690    | 0.530           | 0.408 |
| 140        | 10.160              | 12.100    | 12.650    | 0.550           | 0.439 |
| 150        | 10.100              | 12.050    | 12.680    | 0.610           | 0.469 |
| 160        | 10.110              | 12.000    | 12.630    | 0.630           | 0.500 |
| 170        | 10.140              | 11.950    | 12.600    | 0.650           | 0.531 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|     |        |        |        |       |       |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|
| 180 | 10.130 | 11.890 | 12.580 | 0.690 | 0.562 |
| 190 | 10.130 | 11.840 | 12.570 | 0.730 | 0.592 |
| 200 | 10.110 | 11.780 | 12.540 | 0.760 | 0.623 |
| 210 | 10.120 | 11.740 | 12.520 | 0.780 | 0.654 |
| 220 | 10.100 | 11.680 | 12.500 | 0.820 | 0.685 |
| 230 | 10.160 | 11.625 | 12.470 | 0.845 | 0.716 |
| 240 | 10.160 | 11.570 | 12.460 | 0.890 | 0.747 |
| 250 | 10.130 | 11.520 | 12.430 | 0.910 | 0.777 |
| 260 | 10.120 | 11.470 | 12.410 | 0.940 | 0.808 |
| 270 | 10.140 | 11.430 | 12.400 | 0.970 | 0.839 |
| 280 | 10.100 | 11.370 | 12.380 | 1.010 | 0.870 |

Datos obtenidos mediante la cámara CCD

| Z (mm) | D2 $\sigma$ X | D2 $\sigma$ Y | 10%-90%  |          |    |
|--------|---------------|---------------|----------|----------|----|
|        |               |               | RkeX     | RkeY     |    |
| 300    | 3.0051        | 0.49287       | 2.772    | 0.453075 | mm |
| 295    | 2.6229        | 0.34482       | 2.42445  | 0.32697  | mm |
| 290    | 2.26695       | 0.260295      | 2.13465  | 0.251895 | mm |
| 285    | 1.86795       | 0.2604        | 1.82175  | 0.24738  | mm |
| 280    | 1.5435        | 0.337575      | 1.5351   | 0.31248  | mm |
| 275    | 1.10775       | 0.468195      | 1.1067   | 0.420945 | mm |
| 270    | 0.7791        | 0.60228       | 0.7875   | 0.53193  | mm |
| 265    | 0.475125      | 0.770595      | 0.46977  | 0.67977  | mm |
| 260    | 0.3591        | 0.962955      | 0.32928  | 0.85155  | mm |
| 255    | 0.439845      | 1.01703       | 0.390495 | 0.88725  | mm |
| 250    | 0.670425      | 1.155         | 0.59178  | 1.00716  | mm |
| 245    | 0.98637       | 1.29885       | 0.87444  | 1.13505  | mm |
| 240    | 1.38075       | 1.46895       | 1.2369   | 1.2873   | mm |
| 235    | 1.7556        | 1.6464        | 1.5582   | 1.44165  | mm |

Datos obtenidos mediante la automatización para el láser de Helio-Neón en el plano  $z = 119$ .

| X (mm) | I (mW)   |
|--------|----------|
| 0      | 1.99E-09 |
| 0.05   | 2.04E-09 |
| 0.1    | 2.41E-09 |
| 0.15   | 2.92E-09 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 0.2  | 3.47E-09 |
| 0.25 | 3.78E-09 |
| 0.3  | 3.85E-09 |
| 0.35 | 3.82E-09 |
| 0.4  | 3.89E-09 |
| 0.45 | 4.23E-09 |
| 0.5  | 4.74E-09 |
| 0.55 | 5.26E-09 |
| 0.6  | 5.53E-09 |
| 0.65 | 5.41E-09 |
| 0.7  | 5.03E-09 |
| 0.75 | 4.42E-09 |
| 0.8  | 3.94E-09 |
| 0.85 | 3.82E-09 |
| 0.9  | 4.09E-09 |
| 0.95 | 4.66E-09 |
| 1    | 5.24E-09 |
| 1.05 | 5.40E-09 |
| 1.1  | 4.98E-09 |
| 1.15 | 4.20E-09 |
| 1.2  | 3.27E-09 |
| 1.25 | 2.56E-09 |
| 1.3  | 2.46E-09 |
| 1.35 | 3.08E-09 |
| 1.4  | 4.31E-09 |
| 1.45 | 5.81E-09 |
| 1.5  | 7.19E-09 |
| 1.55 | 8.48E-09 |
| 1.6  | 9.95E-09 |
| 1.65 | 1.06E-08 |
| 1.7  | 1.15E-08 |
| 1.75 | 1.26E-08 |
| 1.8  | 1.40E-08 |
| 1.85 | 1.55E-08 |
| 1.9  | 1.71E-08 |
| 1.95 | 1.90E-08 |
| 2    | 2.10E-08 |
| 2.05 | 2.28E-08 |
| 2.1  | 2.41E-08 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 2.15 | 2.48E-08 |
| 2.2  | 2.48E-08 |
| 2.25 | 2.45E-08 |
| 2.3  | 2.43E-08 |
| 2.35 | 2.41E-08 |
| 2.4  | 2.38E-08 |
| 2.45 | 2.34E-08 |
| 2.5  | 2.30E-08 |
| 2.55 | 2.25E-08 |
| 2.6  | 2.24E-08 |
| 2.65 | 2.27E-08 |
| 2.7  | 2.35E-08 |
| 2.75 | 2.51E-08 |
| 2.8  | 2.79E-08 |
| 2.85 | 3.14E-08 |
| 2.9  | 3.52E-08 |
| 2.95 | 3.97E-08 |
| 3    | 4.58E-08 |
| 3.05 | 5.37E-08 |
| 3.1  | 6.22E-08 |
| 3.15 | 7.26E-08 |
| 3.2  | 8.62E-08 |
| 3.25 | 1.00E-07 |
| 3.3  | 1.16E-07 |
| 3.35 | 1.33E-07 |
| 3.4  | 1.48E-07 |
| 3.45 | 1.65E-07 |
| 3.5  | 1.82E-07 |
| 3.55 | 1.98E-07 |
| 3.6  | 2.16E-07 |
| 3.65 | 2.33E-07 |
| 3.7  | 2.48E-07 |
| 3.75 | 2.63E-07 |
| 3.8  | 2.74E-07 |
| 3.85 | 2.84E-07 |
| 3.9  | 2.95E-07 |
| 3.95 | 3.08E-07 |
| 4    | 3.23E-07 |
| 4.05 | 3.42E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 4.1  | 3.66E-07 |
| 4.15 | 3.94E-07 |
| 4.2  | 4.28E-07 |
| 4.25 | 4.68E-07 |
| 4.3  | 5.16E-07 |
| 4.35 | 5.61E-07 |
| 4.4  | 6.18E-07 |
| 4.45 | 6.77E-07 |
| 4.5  | 7.42E-07 |
| 4.55 | 8.19E-07 |
| 4.6  | 9.00E-07 |
| 4.65 | 9.87E-07 |
| 4.7  | 1.08E-06 |
| 4.75 | 1.18E-06 |
| 4.8  | 1.30E-06 |
| 4.85 | 1.42E-06 |
| 4.9  | 1.54E-06 |
| 4.95 | 1.67E-06 |
| 5    | 1.81E-06 |
| 5.05 | 1.95E-06 |
| 5.1  | 2.10E-06 |
| 5.15 | 2.23E-06 |
| 5.2  | 2.37E-06 |
| 5.25 | 2.51E-06 |
| 5.3  | 2.64E-06 |
| 5.35 | 2.76E-06 |
| 5.4  | 2.87E-06 |
| 5.45 | 2.98E-06 |
| 5.5  | 3.07E-06 |
| 5.55 | 3.17E-06 |
| 5.6  | 3.26E-06 |
| 5.65 | 3.35E-06 |
| 5.7  | 3.45E-06 |
| 5.75 | 3.55E-06 |
| 5.8  | 3.65E-06 |
| 5.85 | 3.77E-06 |
| 5.9  | 3.89E-06 |
| 5.95 | 4.01E-06 |
| 6    | 4.14E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 6.05 | 4.27E-06 |
| 6.1  | 4.41E-06 |
| 6.15 | 4.57E-06 |
| 6.2  | 4.72E-06 |
| 6.25 | 4.89E-06 |
| 6.3  | 5.05E-06 |
| 6.35 | 5.21E-06 |
| 6.4  | 5.37E-06 |
| 6.45 | 5.55E-06 |
| 6.5  | 5.71E-06 |
| 6.55 | 5.87E-06 |
| 6.6  | 6.02E-06 |
| 6.65 | 6.14E-06 |
| 6.7  | 6.27E-06 |
| 6.75 | 6.37E-06 |
| 6.8  | 6.46E-06 |
| 6.85 | 6.53E-06 |
| 6.9  | 6.60E-06 |
| 6.95 | 6.66E-06 |
| 7    | 6.70E-06 |
| 7.05 | 6.72E-06 |
| 7.1  | 6.71E-06 |
| 7.15 | 6.70E-06 |
| 7.2  | 6.68E-06 |
| 7.25 | 6.64E-06 |
| 7.3  | 6.60E-06 |
| 7.35 | 6.53E-06 |
| 7.4  | 6.46E-06 |
| 7.45 | 6.37E-06 |
| 7.5  | 6.28E-06 |
| 7.55 | 6.17E-06 |
| 7.6  | 6.05E-06 |
| 7.65 | 5.91E-06 |
| 7.7  | 5.77E-06 |
| 7.75 | 5.62E-06 |
| 7.8  | 5.46E-06 |
| 7.85 | 5.29E-06 |
| 7.9  | 5.11E-06 |
| 7.95 | 4.92E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 8    | 4.74E-06 |
| 8.05 | 4.54E-06 |
| 8.1  | 4.34E-06 |
| 8.15 | 4.15E-06 |
| 8.2  | 3.95E-06 |
| 8.25 | 3.78E-06 |
| 8.3  | 3.57E-06 |
| 8.35 | 3.40E-06 |
| 8.4  | 3.18E-06 |
| 8.45 | 3.02E-06 |
| 8.5  | 2.86E-06 |
| 8.55 | 2.68E-06 |
| 8.6  | 2.53E-06 |
| 8.65 | 2.39E-06 |
| 8.7  | 2.24E-06 |
| 8.75 | 2.14E-06 |
| 8.8  | 2.00E-06 |
| 8.85 | 1.89E-06 |
| 8.9  | 1.78E-06 |
| 8.95 | 1.68E-06 |
| 9    | 1.59E-06 |
| 9.05 | 1.50E-06 |
| 9.1  | 1.42E-06 |
| 9.15 | 1.33E-06 |
| 9.2  | 1.24E-06 |
| 9.25 | 1.15E-06 |
| 9.3  | 1.07E-06 |
| 9.35 | 9.79E-07 |
| 9.4  | 8.99E-07 |
| 9.45 | 8.26E-07 |
| 9.5  | 7.57E-07 |
| 9.55 | 6.94E-07 |
| 9.6  | 6.38E-07 |
| 9.65 | 5.91E-07 |
| 9.7  | 5.44E-07 |
| 9.75 | 5.20E-07 |
| 9.8  | 4.72E-07 |
| 9.85 | 4.41E-07 |
| 9.9  | 4.13E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 9.95  | 3.83E-07 |
| 10    | 3.57E-07 |
| 10.05 | 3.35E-07 |
| 10.1  | 3.12E-07 |
| 10.15 | 2.90E-07 |
| 10.2  | 2.67E-07 |
| 10.25 | 2.45E-07 |
| 10.3  | 2.23E-07 |
| 10.35 | 2.03E-07 |
| 10.4  | 1.84E-07 |
| 10.45 | 1.67E-07 |
| 10.5  | 1.53E-07 |
| 10.55 | 1.40E-07 |
| 10.6  | 1.31E-07 |
| 10.65 | 1.24E-07 |
| 10.7  | 1.17E-07 |
| 10.75 | 1.11E-07 |
| 10.8  | 1.05E-07 |
| 10.85 | 9.69E-08 |
| 10.9  | 9.04E-08 |
| 10.95 | 8.31E-08 |
| 11    | 7.55E-08 |
| 11.05 | 6.86E-08 |
| 11.1  | 6.32E-08 |
| 11.15 | 5.94E-08 |
| 11.2  | 5.69E-08 |
| 11.25 | 5.46E-08 |
| 11.3  | 5.26E-08 |
| 11.35 | 5.00E-08 |
| 11.4  | 4.70E-08 |
| 11.45 | 4.37E-08 |
| 11.5  | 4.06E-08 |
| 11.55 | 3.79E-08 |
| 11.6  | 3.61E-08 |
| 11.65 | 3.48E-08 |
| 11.7  | 3.39E-08 |
| 11.75 | 3.31E-08 |
| 11.8  | 3.21E-08 |
| 11.85 | 3.07E-08 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 11.9  | 2.88E-08 |
| 11.95 | 2.66E-08 |
| 12    | 2.45E-08 |
| 12.05 | 2.26E-08 |
| 12.1  | 2.12E-08 |
| 12.15 | 1.98E-08 |
| 12.2  | 1.89E-08 |
| 12.25 | 1.76E-08 |
| 12.3  | 1.61E-08 |
| 12.35 | 1.45E-08 |
| 12.4  | 1.29E-08 |
| 12.45 | 1.15E-08 |
| 12.5  | 1.07E-08 |
| 12.55 | 1.05E-08 |
| 12.6  | 1.08E-08 |
| 12.65 | 1.12E-08 |
| 12.7  | 1.16E-08 |
| 12.75 | 1.14E-08 |
| 12.8  | 1.06E-08 |
| 12.85 | 9.14E-09 |
| 12.9  | 7.26E-09 |
| 12.95 | 5.41E-09 |
| 13    | 3.98E-09 |
| 13.05 | 3.10E-09 |
| 13.1  | 2.78E-09 |
| 13.15 | 2.93E-09 |
| 13.2  | 3.22E-09 |
| 13.25 | 3.63E-09 |
| 13.3  | 3.90E-09 |
| 13.35 | 4.09E-09 |
| 13.4  | 4.10E-09 |
| 13.45 | 3.94E-09 |
| 13.5  | 3.59E-09 |
| 13.55 | 3.04E-09 |
| 13.6  | 2.58E-09 |
| 13.65 | 2.38E-09 |
| 13.7  | 2.51E-09 |
| 13.75 | 2.89E-09 |
| 13.8  | 3.32E-09 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 13.85 | 3.59E-09 |
| 13.9  | 3.48E-09 |
| 13.95 | 3.12E-09 |
| 14    | 2.65E-09 |
| 14.05 | 2.27E-09 |
| 14.1  | 2.21E-09 |
| 14.15 | 2.39E-09 |
| 14.2  | 2.74E-09 |
| 14.25 | 3.01E-09 |
| 14.3  | 3.17E-09 |
| 14.35 | 3.16E-09 |
| 14.4  | 3.03E-09 |
| 14.45 | 2.78E-09 |
| 14.5  | 2.49E-09 |
| 14.55 | 2.32E-09 |
| 14.6  | 2.48E-09 |
| 14.65 | 2.98E-09 |
| 14.7  | 3.57E-09 |
| 14.75 | 3.88E-09 |
| 14.8  | 3.76E-09 |
| 14.85 | 3.21E-09 |
| 14.9  | 2.54E-09 |
| 14.95 | 2.16E-09 |
| 15    | 2.19E-09 |

Datos obtenidos mediante la automatización para el láser de Helio-Neón en el plano  $z = 114$ .

| X (mm) | I (mW)   |
|--------|----------|
| 0      | 1.66E-09 |
| 0.05   | 1.67E-09 |
| 0.1    | 1.69E-09 |
| 0.15   | 1.74E-09 |
| 0.2    | 1.74E-09 |
| 0.25   | 1.72E-09 |
| 0.3    | 1.73E-09 |
| 0.35   | 1.83E-09 |
| 0.4    | 1.98E-09 |
| 0.45   | 2.04E-09 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 0.5  | 2.00E-09 |
| 0.55 | 2.08E-09 |
| 0.6  | 2.40E-09 |
| 0.65 | 2.84E-09 |
| 0.7  | 3.10E-09 |
| 0.75 | 2.99E-09 |
| 0.8  | 2.73E-09 |
| 0.85 | 2.73E-09 |
| 0.9  | 3.13E-09 |
| 0.95 | 3.62E-09 |
| 1    | 3.86E-09 |
| 1.05 | 3.72E-09 |
| 1.1  | 3.44E-09 |
| 1.15 | 3.26E-09 |
| 1.2  | 3.33E-09 |
| 1.25 | 3.52E-09 |
| 1.3  | 3.70E-09 |
| 1.35 | 3.75E-09 |
| 1.4  | 3.67E-09 |
| 1.45 | 3.52E-09 |
| 1.5  | 3.34E-09 |
| 1.55 | 3.16E-09 |
| 1.6  | 2.91E-09 |
| 1.65 | 2.74E-09 |
| 1.7  | 2.73E-09 |
| 1.75 | 2.89E-09 |
| 1.8  | 2.98E-09 |
| 1.85 | 2.82E-09 |
| 1.9  | 2.47E-09 |
| 1.95 | 2.18E-09 |
| 2    | 2.21E-09 |
| 2.05 | 2.52E-09 |
| 2.1  | 2.85E-09 |
| 2.15 | 2.92E-09 |
| 2.2  | 2.71E-09 |
| 2.25 | 2.50E-09 |
| 2.3  | 2.55E-09 |
| 2.35 | 2.93E-09 |
| 2.4  | 3.39E-09 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 2.45 | 3.66E-09 |
| 2.5  | 3.74E-09 |
| 2.55 | 3.83E-09 |
| 2.6  | 3.92E-09 |
| 2.65 | 3.84E-09 |
| 2.7  | 3.42E-09 |
| 2.75 | 2.87E-09 |
| 2.8  | 2.67E-09 |
| 2.85 | 3.05E-09 |
| 2.9  | 3.68E-09 |
| 2.95 | 3.94E-09 |
| 3    | 3.58E-09 |
| 3.05 | 2.93E-09 |
| 3.1  | 2.59E-09 |
| 3.15 | 2.81E-09 |
| 3.2  | 3.27E-09 |
| 3.25 | 3.46E-09 |
| 3.3  | 3.12E-09 |
| 3.35 | 2.56E-09 |
| 3.4  | 2.28E-09 |
| 3.45 | 2.59E-09 |
| 3.5  | 3.35E-09 |
| 3.55 | 4.06E-09 |
| 3.6  | 4.36E-09 |
| 3.65 | 4.09E-09 |
| 3.7  | 3.52E-09 |
| 3.75 | 3.09E-09 |
| 3.8  | 3.12E-09 |
| 3.85 | 3.61E-09 |
| 3.9  | 4.31E-09 |
| 3.95 | 4.90E-09 |
| 4    | 5.14E-09 |
| 4.05 | 4.80E-09 |
| 4.1  | 3.97E-09 |
| 4.15 | 3.01E-09 |
| 4.2  | 2.30E-09 |
| 4.25 | 2.13E-09 |
| 4.3  | 2.35E-09 |
| 4.35 | 2.59E-09 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 4.4  | 2.58E-09 |
| 4.45 | 2.45E-09 |
| 4.5  | 2.49E-09 |
| 4.55 | 2.90E-09 |
| 4.6  | 3.73E-09 |
| 4.65 | 4.68E-09 |
| 4.7  | 5.50E-09 |
| 4.75 | 6.00E-09 |
| 4.8  | 6.18E-09 |
| 4.85 | 6.09E-09 |
| 4.9  | 5.72E-09 |
| 4.95 | 5.31E-09 |
| 5    | 5.03E-09 |
| 5.05 | 5.03E-09 |
| 5.1  | 5.28E-09 |
| 5.15 | 5.64E-09 |
| 5.2  | 5.84E-09 |
| 5.25 | 5.67E-09 |
| 5.3  | 5.07E-09 |
| 5.35 | 4.15E-09 |
| 5.4  | 3.23E-09 |
| 5.45 | 2.45E-09 |
| 5.5  | 2.07E-09 |
| 5.55 | 2.20E-09 |
| 5.6  | 2.95E-09 |
| 5.65 | 4.43E-09 |
| 5.7  | 6.51E-09 |
| 5.75 | 8.92E-09 |
| 5.8  | 1.13E-08 |
| 5.85 | 1.30E-08 |
| 5.9  | 1.40E-08 |
| 5.95 | 1.45E-08 |
| 6    | 1.53E-08 |
| 6.05 | 1.69E-08 |
| 6.1  | 1.96E-08 |
| 6.15 | 2.33E-08 |
| 6.2  | 2.71E-08 |
| 6.25 | 3.04E-08 |
| 6.3  | 3.24E-08 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 6.35 | 3.32E-08 |
| 6.4  | 3.25E-08 |
| 6.45 | 3.12E-08 |
| 6.5  | 2.95E-08 |
| 6.55 | 2.76E-08 |
| 6.6  | 2.59E-08 |
| 6.65 | 2.44E-08 |
| 6.7  | 2.33E-08 |
| 6.75 | 2.27E-08 |
| 6.8  | 2.28E-08 |
| 6.85 | 2.42E-08 |
| 6.9  | 2.73E-08 |
| 6.95 | 3.29E-08 |
| 7    | 4.11E-08 |
| 7.05 | 5.17E-08 |
| 7.1  | 6.46E-08 |
| 7.15 | 7.82E-08 |
| 7.2  | 9.12E-08 |
| 7.25 | 1.04E-07 |
| 7.3  | 1.16E-07 |
| 7.35 | 1.29E-07 |
| 7.4  | 1.42E-07 |
| 7.45 | 1.56E-07 |
| 7.5  | 1.71E-07 |
| 7.55 | 1.85E-07 |
| 7.6  | 1.98E-07 |
| 7.65 | 2.13E-07 |
| 7.7  | 2.27E-07 |
| 7.75 | 2.44E-07 |
| 7.8  | 2.61E-07 |
| 7.85 | 2.81E-07 |
| 7.9  | 3.01E-07 |
| 7.95 | 3.23E-07 |
| 8    | 3.51E-07 |
| 8.05 | 3.82E-07 |
| 8.1  | 4.21E-07 |
| 8.15 | 4.64E-07 |
| 8.2  | 5.19E-07 |
| 8.25 | 5.78E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 8.3   | 6.47E-07 |
| 8.35  | 7.22E-07 |
| 8.4   | 8.06E-07 |
| 8.45  | 8.99E-07 |
| 8.5   | 1.00E-06 |
| 8.55  | 1.11E-06 |
| 8.6   | 1.23E-06 |
| 8.65  | 1.35E-06 |
| 8.7   | 1.49E-06 |
| 8.75  | 1.64E-06 |
| 8.8   | 1.78E-06 |
| 8.85  | 1.94E-06 |
| 8.9   | 2.09E-06 |
| 8.95  | 2.25E-06 |
| 9     | 2.40E-06 |
| 9.05  | 2.57E-06 |
| 9.1   | 2.73E-06 |
| 9.15  | 2.88E-06 |
| 9.2   | 3.04E-06 |
| 9.25  | 3.19E-06 |
| 9.3   | 3.34E-06 |
| 9.35  | 3.49E-06 |
| 9.4   | 3.64E-06 |
| 9.45  | 3.78E-06 |
| 9.5   | 3.93E-06 |
| 9.55  | 4.07E-06 |
| 9.6   | 4.21E-06 |
| 9.65  | 4.37E-06 |
| 9.7   | 4.51E-06 |
| 9.75  | 4.66E-06 |
| 9.8   | 4.81E-06 |
| 9.85  | 4.96E-06 |
| 9.9   | 5.10E-06 |
| 9.95  | 5.24E-06 |
| 10    | 5.40E-06 |
| 10.05 | 5.57E-06 |
| 10.1  | 5.76E-06 |
| 10.15 | 5.95E-06 |
| 10.2  | 6.12E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 10.25 | 6.28E-06 |
| 10.3  | 6.45E-06 |
| 10.35 | 6.61E-06 |
| 10.4  | 6.75E-06 |
| 10.45 | 6.90E-06 |
| 10.5  | 7.02E-06 |
| 10.55 | 7.11E-06 |
| 10.6  | 7.18E-06 |
| 10.65 | 7.23E-06 |
| 10.7  | 7.28E-06 |
| 10.75 | 7.34E-06 |
| 10.8  | 7.39E-06 |
| 10.85 | 7.42E-06 |
| 10.9  | 7.42E-06 |
| 10.95 | 7.38E-06 |
| 11    | 7.33E-06 |
| 11.05 | 7.28E-06 |
| 11.1  | 7.17E-06 |
| 11.15 | 7.07E-06 |
| 11.2  | 6.94E-06 |
| 11.25 | 6.78E-06 |
| 11.3  | 6.59E-06 |
| 11.35 | 6.38E-06 |
| 11.4  | 6.15E-06 |
| 11.45 | 5.93E-06 |
| 11.5  | 5.71E-06 |
| 11.55 | 5.49E-06 |
| 11.6  | 5.26E-06 |
| 11.65 | 5.02E-06 |
| 11.7  | 4.78E-06 |
| 11.75 | 4.54E-06 |
| 11.8  | 4.32E-06 |
| 11.85 | 4.09E-06 |
| 11.9  | 3.89E-06 |
| 11.95 | 3.70E-06 |
| 12    | 3.50E-06 |
| 12.05 | 3.70E-06 |
| 12.1  | 3.51E-06 |
| 12.15 | 3.33E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 12.2  | 3.14E-06 |
| 12.25 | 2.95E-06 |
| 12.3  | 2.76E-06 |
| 12.35 | 2.59E-06 |
| 12.4  | 2.41E-06 |
| 12.45 | 2.25E-06 |
| 12.5  | 2.09E-06 |
| 12.55 | 1.94E-06 |
| 12.6  | 1.80E-06 |
| 12.65 | 1.67E-06 |
| 12.7  | 1.55E-06 |
| 12.75 | 1.43E-06 |
| 12.8  | 1.31E-06 |
| 12.85 | 1.20E-06 |
| 12.9  | 1.10E-06 |
| 12.95 | 1.01E-06 |
| 13    | 9.25E-07 |
| 13.05 | 8.56E-07 |
| 13.1  | 7.89E-07 |
| 13.15 | 7.36E-07 |
| 13.2  | 6.91E-07 |
| 13.25 | 6.49E-07 |
| 13.3  | 6.12E-07 |
| 13.35 | 5.76E-07 |
| 13.4  | 5.39E-07 |
| 13.45 | 5.03E-07 |
| 13.5  | 4.66E-07 |
| 13.55 | 4.27E-07 |
| 13.6  | 3.91E-07 |
| 13.65 | 3.59E-07 |
| 13.7  | 3.29E-07 |
| 13.75 | 3.01E-07 |
| 13.8  | 2.78E-07 |
| 13.85 | 2.56E-07 |
| 13.9  | 2.36E-07 |
| 13.95 | 2.18E-07 |
| 14    | 2.02E-07 |
| 14.05 | 1.86E-07 |
| 14.1  | 1.72E-07 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 14.15 | 1.60E-07   |
| 14.2  | 1.50E-07   |
| 14.25 | 1.42E-07   |
| 14.3  | 1.33E-07   |
| 14.35 | 1.27E-07   |
| 14.4  | 1.21E-07   |
| 14.45 | 1.15E-07   |
| 14.5  | 1.09E-07   |
| 14.55 | 1.03E-07   |
| 14.6  | 9.73E-08   |
| 14.65 | 9.18E-08   |
| 14.7  | 8.59E-08   |
| 14.75 | 7.97E-08   |
| 14.8  | 7.31E-08   |
| 14.85 | 6.60E-08   |
| 14.9  | 5.92E-08   |
| 14.95 | 5.36E-08   |
| 15    | 4.81E-08   |
| 15.05 | 4.3566E-08 |
| 15.1  | 3.9816E-08 |
| 15.15 | 3.6678E-08 |
| 15.2  | 3.4019E-08 |
| 15.25 | 3.1735E-08 |
| 15.3  | 3.0206E-08 |
| 15.35 | 2.945E-08  |
| 15.4  | 2.9426E-08 |
| 15.45 | 2.9284E-08 |
| 15.5  | 2.8751E-08 |
| 15.55 | 2.7372E-08 |
| 15.6  | 2.4997E-08 |
| 15.65 | 2.1749E-08 |
| 15.7  | 1.8156E-08 |
| 15.75 | 1.485E-08  |
| 15.8  | 1.254E-08  |
| 15.85 | 1.1546E-08 |
| 15.9  | 1.1755E-08 |
| 15.95 | 1.2627E-08 |
| 16    | 1.3619E-08 |
| 16.05 | 1.3962E-08 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 16.1  | 1.3322E-08 |
| 16.15 | 1.1685E-08 |
| 16.2  | 9.4296E-09 |
| 16.25 | 6.9129E-09 |
| 16.3  | 4.7387E-09 |
| 16.35 | 3.2538E-09 |
| 16.4  | 2.4823E-09 |
| 16.45 | 2.4223E-09 |
| 16.5  | 2.7513E-09 |
| 16.55 | 3.1868E-09 |
| 16.6  | 3.5511E-09 |
| 16.65 | 3.9506E-09 |
| 16.7  | 4.3179E-09 |
| 16.75 | 4.5055E-09 |
| 16.8  | 4.3339E-09 |
| 16.85 | 3.747E-09  |
| 16.9  | 3.0981E-09 |
| 16.95 | 2.8877E-09 |
| 17    | 3.4789E-09 |
| 17.05 | 4.7215E-09 |
| 17.1  | 5.8366E-09 |
| 17.15 | 6.1909E-09 |
| 17.2  | 5.5654E-09 |
| 17.25 | 4.2714E-09 |
| 17.3  | 3.0011E-09 |
| 17.35 | 2.2544E-09 |
| 17.4  | 2.0886E-09 |
| 17.45 | 2.2548E-09 |
| 17.5  | 2.4972E-09 |
| 17.55 | 2.8142E-09 |
| 17.6  | 3.2435E-09 |
| 17.65 | 3.6006E-09 |
| 17.7  | 3.6435E-09 |
| 17.75 | 3.2822E-09 |
| 17.8  | 2.8045E-09 |
| 17.85 | 2.7232E-09 |
| 17.9  | 3.232E-09  |
| 17.95 | 3.9053E-09 |
| 18    | 4.1813E-09 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

18.05

3.7867E-09

Datos obtenidos mediante la automatización para el láser de semiconductor en el plano  $z = 140$ .

| $\Delta x$ (mm) | I (mW)   |
|-----------------|----------|
| 0               | 2.80E-07 |
| 0.05            | 2.94E-07 |
| 0.1             | 2.95E-07 |
| 0.15            | 3.04E-07 |
| 0.2             | 3.15E-07 |
| 0.25            | 3.30E-07 |
| 0.3             | 3.33E-07 |
| 0.35            | 3.32E-07 |
| 0.4             | 3.31E-07 |
| 0.45            | 3.30E-07 |
| 0.5             | 3.36E-07 |
| 0.55            | 3.49E-07 |
| 0.6             | 3.66E-07 |
| 0.65            | 3.88E-07 |
| 0.7             | 4.19E-07 |
| 0.75            | 4.32E-07 |
| 0.8             | 4.34E-07 |
| 0.85            | 4.19E-07 |
| 0.9             | 4.26E-07 |
| 0.95            | 4.11E-07 |
| 1               | 4.06E-07 |
| 1.05            | 3.94E-07 |
| 1.1             | 3.96E-07 |
| 1.15            | 3.94E-07 |
| 1.2             | 3.91E-07 |
| 1.25            | 4.09E-07 |
| 1.3             | 4.08E-07 |
| 1.35            | 4.24E-07 |
| 1.4             | 4.17E-07 |
| 1.45            | 4.29E-07 |
| 1.5             | 4.38E-07 |
| 1.55            | 4.56E-07 |
| 1.6             | 4.67E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 1.65 | 5.01E-07 |
| 1.7  | 5.21E-07 |
| 1.75 | 5.29E-07 |
| 1.8  | 5.40E-07 |
| 1.85 | 5.50E-07 |
| 1.9  | 6.04E-07 |
| 1.95 | 6.27E-07 |
| 2    | 6.43E-07 |
| 2.05 | 6.44E-07 |
| 2.1  | 6.38E-07 |
| 2.15 | 6.30E-07 |
| 2.2  | 6.29E-07 |
| 2.25 | 6.54E-07 |
| 2.3  | 6.66E-07 |
| 2.35 | 7.04E-07 |
| 2.4  | 7.50E-07 |
| 2.45 | 7.85E-07 |
| 2.5  | 7.96E-07 |
| 2.55 | 8.12E-07 |
| 2.6  | 8.36E-07 |
| 2.65 | 8.77E-07 |
| 2.7  | 9.55E-07 |
| 2.75 | 1.06E-06 |
| 2.8  | 1.23E-06 |
| 2.85 | 1.36E-06 |
| 2.9  | 1.32E-06 |
| 2.95 | 1.18E-06 |
| 3    | 1.01E-06 |
| 3.05 | 8.30E-07 |
| 3.1  | 8.86E-07 |
| 3.15 | 9.38E-07 |
| 3.2  | 9.55E-07 |
| 3.25 | 9.72E-07 |
| 3.3  | 9.98E-07 |
| 3.35 | 1.05E-06 |
| 3.4  | 1.08E-06 |
| 3.45 | 1.10E-06 |
| 3.5  | 1.12E-06 |
| 3.55 | 1.14E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 3.6  | 1.19E-06 |
| 3.65 | 1.22E-06 |
| 3.7  | 1.29E-06 |
| 3.75 | 1.35E-06 |
| 3.8  | 1.39E-06 |
| 3.85 | 1.44E-06 |
| 3.9  | 1.48E-06 |
| 3.95 | 1.55E-06 |
| 4    | 1.52E-06 |
| 4.05 | 1.62E-06 |
| 4.1  | 1.68E-06 |
| 4.15 | 1.57E-06 |
| 4.2  | 1.56E-06 |
| 4.25 | 1.63E-06 |
| 4.3  | 1.70E-06 |
| 4.35 | 1.73E-06 |
| 4.4  | 1.79E-06 |
| 4.45 | 1.77E-06 |
| 4.5  | 1.81E-06 |
| 4.55 | 1.84E-06 |
| 4.6  | 1.86E-06 |
| 4.65 | 1.98E-06 |
| 4.7  | 2.05E-06 |
| 4.75 | 2.08E-06 |
| 4.8  | 2.10E-06 |
| 4.85 | 2.11E-06 |
| 4.9  | 2.11E-06 |
| 4.95 | 2.10E-06 |
| 5    | 2.06E-06 |
| 5.05 | 2.07E-06 |
| 5.1  | 2.09E-06 |
| 5.15 | 2.20E-06 |
| 5.2  | 2.36E-06 |
| 5.25 | 2.48E-06 |
| 5.3  | 2.62E-06 |
| 5.35 | 2.79E-06 |
| 5.4  | 3.23E-06 |
| 5.45 | 3.97E-06 |
| 5.5  | 4.92E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 5.55 | 6.42E-06 |
| 5.6  | 8.94E-06 |
| 5.65 | 3.77E-05 |
| 5.7  | 1.54E-04 |
| 5.75 | 2.98E-04 |
| 5.8  | 3.17E-04 |
| 5.85 | 3.29E-04 |
| 5.9  | 3.35E-04 |
| 5.95 | 3.38E-04 |
| 6    | 3.39E-04 |
| 6.05 | 3.40E-04 |
| 6.1  | 3.39E-04 |
| 6.15 | 3.38E-04 |
| 6.2  | 3.36E-04 |
| 6.25 | 3.37E-04 |
| 6.3  | 3.38E-04 |
| 6.35 | 3.38E-04 |
| 6.4  | 3.40E-04 |
| 6.45 | 3.43E-04 |
| 6.5  | 3.43E-04 |
| 6.55 | 3.45E-04 |
| 6.6  | 3.46E-04 |
| 6.65 | 3.44E-04 |
| 6.7  | 3.42E-04 |
| 6.75 | 3.42E-04 |
| 6.8  | 3.40E-04 |
| 6.85 | 3.41E-04 |
| 6.9  | 3.43E-04 |
| 6.95 | 3.44E-04 |
| 7    | 3.46E-04 |
| 7.05 | 3.49E-04 |
| 7.1  | 3.51E-04 |
| 7.15 | 3.54E-04 |
| 7.2  | 3.55E-04 |
| 7.25 | 3.59E-04 |
| 7.3  | 3.60E-04 |
| 7.35 | 3.62E-04 |
| 7.4  | 3.58E-04 |
| 7.45 | 3.58E-04 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 7.5  | 3.57E-04 |
| 7.55 | 3.55E-04 |
| 7.6  | 3.57E-04 |
| 7.65 | 3.59E-04 |
| 7.7  | 3.60E-04 |
| 7.75 | 3.60E-04 |
| 7.8  | 3.57E-04 |
| 7.85 | 3.55E-04 |
| 7.9  | 3.54E-04 |
| 7.95 | 3.48E-04 |
| 8    | 3.44E-04 |
| 8.05 | 3.43E-04 |
| 8.1  | 3.39E-04 |
| 8.15 | 3.37E-04 |
| 8.2  | 3.35E-04 |
| 8.25 | 3.33E-04 |
| 8.3  | 3.32E-04 |
| 8.35 | 3.30E-04 |
| 8.4  | 3.29E-04 |
| 8.45 | 3.28E-04 |
| 8.5  | 3.28E-04 |
| 8.55 | 3.31E-04 |
| 8.6  | 3.31E-04 |
| 8.65 | 3.30E-04 |
| 8.7  | 3.29E-04 |
| 8.75 | 3.28E-04 |
| 8.8  | 3.30E-04 |
| 8.85 | 3.28E-04 |
| 8.9  | 3.26E-04 |
| 8.95 | 3.25E-04 |
| 9    | 3.23E-04 |
| 9.05 | 3.21E-04 |
| 9.1  | 3.20E-04 |
| 9.15 | 3.19E-04 |
| 9.2  | 3.16E-04 |
| 9.25 | 3.13E-04 |
| 9.3  | 3.12E-04 |
| 9.35 | 3.11E-04 |
| 9.4  | 3.09E-04 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 9.45  | 3.12E-04 |
| 9.5   | 3.14E-04 |
| 9.55  | 3.17E-04 |
| 9.6   | 3.19E-04 |
| 9.65  | 3.21E-04 |
| 9.7   | 3.24E-04 |
| 9.75  | 3.21E-04 |
| 9.8   | 3.17E-04 |
| 9.85  | 3.15E-04 |
| 9.9   | 3.16E-04 |
| 9.95  | 3.16E-04 |
| 10    | 3.14E-04 |
| 10.05 | 3.15E-04 |
| 10.1  | 3.13E-04 |
| 10.15 | 3.12E-04 |
| 10.2  | 3.11E-04 |
| 10.25 | 3.10E-04 |
| 10.3  | 3.10E-04 |
| 10.35 | 3.11E-04 |
| 10.4  | 3.10E-04 |
| 10.45 | 3.14E-04 |
| 10.5  | 3.14E-04 |
| 10.55 | 3.12E-04 |
| 10.6  | 3.15E-04 |
| 10.65 | 3.17E-04 |
| 10.7  | 3.20E-04 |
| 10.75 | 3.20E-04 |
| 10.8  | 3.21E-04 |
| 10.85 | 3.22E-04 |
| 10.9  | 3.21E-04 |
| 10.95 | 3.23E-04 |
| 11    | 3.27E-04 |
| 11.05 | 3.25E-04 |
| 11.1  | 3.25E-04 |
| 11.15 | 3.26E-04 |
| 11.2  | 3.28E-04 |
| 11.25 | 3.27E-04 |
| 11.3  | 3.28E-04 |
| 11.35 | 3.27E-04 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 11.4  | 3.27E-04 |
| 11.45 | 3.29E-04 |
| 11.5  | 3.32E-04 |
| 11.55 | 3.33E-04 |
| 11.6  | 3.33E-04 |
| 11.65 | 3.32E-04 |
| 11.7  | 3.30E-04 |
| 11.75 | 3.29E-04 |
| 11.8  | 3.24E-04 |
| 11.85 | 3.22E-04 |
| 11.9  | 3.19E-04 |
| 11.95 | 3.20E-04 |
| 12    | 3.18E-04 |
| 12.05 | 3.19E-04 |
| 12.1  | 3.18E-04 |
| 12.15 | 3.19E-04 |
| 12.2  | 3.21E-04 |
| 12.25 | 3.23E-04 |
| 12.3  | 3.24E-04 |
| 12.35 | 3.25E-04 |
| 12.4  | 3.28E-04 |
| 12.45 | 3.31E-04 |
| 12.5  | 3.33E-04 |
| 12.55 | 3.34E-04 |
| 12.6  | 3.34E-04 |
| 12.65 | 3.34E-04 |
| 12.7  | 3.36E-04 |
| 12.75 | 3.36E-04 |
| 12.8  | 3.35E-04 |
| 12.85 | 3.37E-04 |
| 12.9  | 3.41E-04 |
| 12.95 | 3.46E-04 |
| 13    | 3.54E-04 |
| 13.05 | 3.55E-04 |
| 13.1  | 3.54E-04 |
| 13.15 | 3.48E-04 |
| 13.2  | 3.36E-04 |
| 13.25 | 3.19E-04 |
| 13.3  | 2.99E-04 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |          |
|-------|----------|
| 13.35 | 1.79E-04 |
| 13.4  | 4.80E-05 |
| 13.45 | 6.89E-06 |
| 13.5  | 3.31E-06 |
| 13.55 | 2.95E-06 |
| 13.6  | 2.80E-06 |
| 13.65 | 2.73E-06 |
| 13.7  | 2.52E-06 |
| 13.75 | 2.33E-06 |
| 13.8  | 2.19E-06 |
| 13.85 | 2.17E-06 |
| 13.9  | 2.08E-06 |
| 13.95 | 2.01E-06 |
| 14    | 1.96E-06 |

Datos obtenidos mediante la automatización para el láser de semiconductor en el plano  $z = 190$ .

| $\Delta x$ (mm) | I (mW)   |
|-----------------|----------|
| 0               | 5.38E-06 |
| 0.1             | 5.54E-06 |
| 0.2             | 5.86E-06 |
| 0.3             | 6.37E-06 |
| 0.4             | 6.60E-06 |
| 0.5             | 6.83E-06 |
| 0.6             | 7.24E-06 |
| 0.7             | 7.65E-06 |
| 0.8             | 8.70E-06 |
| 0.9             | 8.90E-06 |
| 1               | 9.90E-06 |
| 1.1             | 1.07E-05 |
| 1.2             | 9.93E-06 |
| 1.3             | 1.16E-05 |
| 1.4             | 1.39E-05 |
| 1.5             | 1.16E-05 |
| 1.6             | 1.15E-05 |
| 1.7             | 1.24E-05 |
| 1.8             | 1.34E-05 |
| 1.9             | 1.47E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|     |          |
|-----|----------|
| 2   | 1.59E-05 |
| 2.1 | 1.64E-05 |
| 2.2 | 2.31E-05 |
| 2.3 | 7.79E-05 |
| 2.4 | 3.09E-04 |
| 2.5 | 3.49E-04 |
| 2.6 | 3.66E-04 |
| 2.7 | 3.61E-04 |
| 2.8 | 3.46E-04 |
| 2.9 | 3.38E-04 |
| 3   | 3.36E-04 |
| 3.1 | 3.33E-04 |
| 3.2 | 3.30E-04 |
| 3.3 | 3.29E-04 |
| 3.4 | 3.23E-04 |
| 3.5 | 3.15E-04 |
| 3.6 | 2.93E-04 |
| 3.7 | 7.41E-05 |
| 3.8 | 1.88E-05 |
| 3.9 | 1.76E-05 |
| 4   | 1.74E-05 |
| 4.1 | 1.71E-05 |
| 4.2 | 1.57E-05 |
| 4.3 | 1.45E-05 |
| 4.4 | 1.33E-05 |
| 4.5 | 1.21E-05 |
| 4.6 | 1.12E-05 |
| 4.7 | 1.03E-05 |
| 4.8 | 9.78E-06 |
| 4.9 | 9.76E-06 |
| 5   | 9.34E-06 |
| 5.1 | 8.56E-06 |
| 5.2 | 8.36E-06 |
| 5.3 | 8.36E-06 |
| 5.4 | 8.37E-06 |
| 5.5 | 8.32E-06 |
| 5.6 | 7.72E-06 |
| 5.7 | 6.77E-06 |
| 5.8 | 6.26E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|     |          |
|-----|----------|
| 5.9 | 6.04E-06 |
| 6   | 5.86E-06 |
| 6.1 | 5.68E-06 |
| 6.2 | 5.60E-06 |
| 6.3 | 5.61E-06 |
| 6.4 | 5.63E-06 |
| 6.5 | 5.51E-06 |
| 6.6 | 5.17E-06 |
| 6.7 | 4.88E-06 |
| 6.8 | 4.65E-06 |
| 6.9 | 4.29E-06 |
| 7   | 4.16E-06 |
| 7.1 | 3.99E-06 |
| 7.2 | 3.82E-06 |
| 7.3 | 3.86E-06 |
| 7.4 | 3.86E-06 |
| 7.5 | 3.83E-06 |
| 7.6 | 4.02E-06 |
| 7.7 | 4.09E-06 |
| 7.8 | 3.91E-06 |
| 7.9 | 3.60E-06 |
| 8   | 3.03E-06 |
| 8.1 | 2.34E-06 |
| 8.2 | 1.73E-06 |
| 8.3 | 1.25E-06 |
| 8.4 | 9.90E-07 |
| 8.5 | 9.22E-07 |
| 8.6 | 8.48E-07 |
| 8.7 | 7.87E-07 |
| 8.8 | 7.29E-07 |
| 8.9 | 7.79E-07 |
| 9   | 7.70E-07 |
| 9.1 | 7.17E-07 |
| 9.2 | 6.52E-07 |
| 9.3 | 6.58E-07 |
| 9.4 | 6.06E-07 |
| 9.5 | 6.00E-07 |
| 9.6 | 5.94E-07 |
| 9.7 | 5.57E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 9.8  | 5.52E-07 |
| 9.9  | 5.32E-07 |
| 10   | 4.95E-07 |
| 10.1 | 4.37E-07 |
| 10.2 | 4.23E-07 |
| 10.3 | 4.30E-07 |
| 10.4 | 4.21E-07 |
| 10.5 | 4.33E-07 |
| 10.6 | 4.02E-07 |
| 10.7 | 3.69E-07 |
| 10.8 | 3.60E-07 |
| 10.9 | 3.64E-07 |
| 11   | 3.71E-07 |
| 11.1 | 3.53E-07 |
| 11.2 | 3.45E-07 |
| 11.3 | 3.34E-07 |
| 11.4 | 3.47E-07 |
| 11.5 | 3.29E-07 |
| 11.6 | 3.29E-07 |
| 11.7 | 2.95E-07 |
| 11.8 | 2.44E-07 |
| 11.9 | 2.44E-07 |
| 12   | 2.43E-07 |

Datos obtenidos mediante la automatización para el láser de semiconductor en el plano  $z = 90$ .

| $\Delta x$ (mm) | $I$ (mW) |
|-----------------|----------|
| 0               | 1.86E-07 |
| 0.01            | 1.85E-07 |
| 0.02            | 1.85E-07 |
| 0.03            | 1.87E-07 |
| 0.04            | 1.81E-07 |
| 0.05            | 1.84E-07 |
| 0.06            | 1.74E-07 |
| 0.07            | 1.80E-07 |
| 0.08            | 1.81E-07 |
| 0.09            | 1.84E-07 |
| 0.1             | 1.76E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 0.11 | 1.81E-07 |
| 0.12 | 1.79E-07 |
| 0.13 | 1.81E-07 |
| 0.14 | 1.78E-07 |
| 0.15 | 1.79E-07 |
| 0.16 | 1.81E-07 |
| 0.17 | 1.83E-07 |
| 0.18 | 1.81E-07 |
| 0.19 | 1.73E-07 |
| 0.2  | 1.77E-07 |
| 0.21 | 1.86E-07 |
| 0.22 | 1.92E-07 |
| 0.23 | 1.90E-07 |
| 0.24 | 1.84E-07 |
| 0.25 | 1.79E-07 |
| 0.26 | 1.80E-07 |
| 0.27 | 1.83E-07 |
| 0.28 | 1.82E-07 |
| 0.29 | 1.84E-07 |
| 0.3  | 1.78E-07 |
| 0.31 | 1.79E-07 |
| 0.32 | 1.83E-07 |
| 0.33 | 1.77E-07 |
| 0.34 | 1.77E-07 |
| 0.35 | 1.78E-07 |
| 0.36 | 1.83E-07 |
| 0.37 | 1.81E-07 |
| 0.38 | 1.83E-07 |
| 0.39 | 1.79E-07 |
| 0.4  | 1.71E-07 |
| 0.41 | 1.78E-07 |
| 0.42 | 1.81E-07 |
| 0.43 | 1.79E-07 |
| 0.44 | 1.79E-07 |
| 0.45 | 1.79E-07 |
| 0.46 | 1.74E-07 |
| 0.47 | 1.72E-07 |
| 0.48 | 1.77E-07 |
| 0.49 | 1.78E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 0.5  | 1.71E-07 |
| 0.51 | 1.75E-07 |
| 0.52 | 1.76E-07 |
| 0.53 | 1.71E-07 |
| 0.54 | 1.71E-07 |
| 0.55 | 1.75E-07 |
| 0.56 | 1.72E-07 |
| 0.57 | 1.67E-07 |
| 0.58 | 1.71E-07 |
| 0.59 | 1.73E-07 |
| 0.6  | 1.87E-07 |
| 0.61 | 1.82E-07 |
| 0.62 | 1.83E-07 |
| 0.63 | 1.81E-07 |
| 0.64 | 1.78E-07 |
| 0.65 | 1.77E-07 |
| 0.66 | 1.83E-07 |
| 0.67 | 1.77E-07 |
| 0.68 | 1.79E-07 |
| 0.69 | 1.65E-07 |
| 0.7  | 1.78E-07 |
| 0.71 | 1.79E-07 |
| 0.72 | 1.81E-07 |
| 0.73 | 1.73E-07 |
| 0.74 | 1.74E-07 |
| 0.75 | 1.78E-07 |
| 0.76 | 1.80E-07 |
| 0.77 | 1.73E-07 |
| 0.78 | 1.74E-07 |
| 0.79 | 1.71E-07 |
| 0.8  | 1.63E-07 |
| 0.81 | 1.76E-07 |
| 0.82 | 1.70E-07 |
| 0.83 | 1.82E-07 |
| 0.84 | 1.74E-07 |
| 0.85 | 1.82E-07 |
| 0.86 | 1.83E-07 |
| 0.87 | 1.73E-07 |
| 0.88 | 1.87E-07 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 0.89 | 1.79E-07 |
| 0.9  | 1.81E-07 |
| 0.91 | 1.81E-07 |
| 0.92 | 1.85E-07 |
| 0.93 | 1.85E-07 |
| 0.94 | 1.97E-07 |
| 0.95 | 2.02E-07 |
| 0.96 | 2.05E-07 |
| 0.97 | 2.17E-07 |
| 0.98 | 2.25E-07 |
| 0.99 | 2.39E-07 |
| 1    | 2.51E-07 |
| 1.01 | 2.53E-07 |
| 1.02 | 2.67E-07 |
| 1.03 | 2.71E-07 |
| 1.04 | 2.83E-07 |
| 1.05 | 2.99E-07 |
| 1.06 | 2.99E-07 |
| 1.07 | 2.98E-07 |
| 1.08 | 3.16E-07 |
| 1.09 | 3.20E-07 |
| 1.1  | 3.25E-07 |
| 1.11 | 3.28E-07 |
| 1.12 | 3.14E-07 |
| 1.13 | 3.22E-07 |
| 1.14 | 3.14E-07 |
| 1.15 | 3.20E-07 |
| 1.16 | 3.23E-07 |
| 1.17 | 3.18E-07 |
| 1.18 | 3.21E-07 |
| 1.19 | 3.20E-07 |
| 1.2  | 3.17E-07 |
| 1.21 | 3.12E-07 |
| 1.22 | 3.12E-07 |
| 1.23 | 3.17E-07 |
| 1.24 | 3.21E-07 |
| 1.25 | 3.14E-07 |
| 1.26 | 3.17E-07 |
| 1.27 | 3.15E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 1.28 | 3.14E-07 |
| 1.29 | 3.07E-07 |
| 1.3  | 3.20E-07 |
| 1.31 | 3.08E-07 |
| 1.32 | 3.13E-07 |
| 1.33 | 3.14E-07 |
| 1.34 | 3.13E-07 |
| 1.35 | 3.16E-07 |
| 1.36 | 3.12E-07 |
| 1.37 | 3.11E-07 |
| 1.38 | 3.15E-07 |
| 1.39 | 3.13E-07 |
| 1.4  | 3.04E-07 |
| 1.41 | 3.05E-07 |
| 1.42 | 2.92E-07 |
| 1.43 | 2.96E-07 |
| 1.44 | 2.99E-07 |
| 1.45 | 3.05E-07 |
| 1.46 | 3.04E-07 |
| 1.47 | 2.94E-07 |
| 1.48 | 3.05E-07 |
| 1.49 | 3.05E-07 |
| 1.5  | 2.96E-07 |
| 1.51 | 2.91E-07 |
| 1.52 | 2.99E-07 |
| 1.53 | 3.06E-07 |
| 1.54 | 2.98E-07 |
| 1.55 | 2.96E-07 |
| 1.56 | 3.01E-07 |
| 1.57 | 3.03E-07 |
| 1.58 | 2.99E-07 |
| 1.59 | 3.04E-07 |
| 1.6  | 3.08E-07 |
| 1.61 | 3.07E-07 |
| 1.62 | 2.98E-07 |
| 1.63 | 3.08E-07 |
| 1.64 | 3.13E-07 |
| 1.65 | 3.09E-07 |
| 1.66 | 2.98E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 1.67 | 3.11E-07 |
| 1.68 | 3.05E-07 |
| 1.69 | 3.12E-07 |
| 1.7  | 3.03E-07 |
| 1.71 | 3.11E-07 |
| 1.72 | 3.06E-07 |
| 1.73 | 3.11E-07 |
| 1.74 | 3.04E-07 |
| 1.75 | 3.13E-07 |
| 1.76 | 3.05E-07 |
| 1.77 | 3.19E-07 |
| 1.78 | 3.16E-07 |
| 1.79 | 3.17E-07 |
| 1.8  | 3.17E-07 |
| 1.81 | 3.21E-07 |
| 1.82 | 3.25E-07 |
| 1.83 | 3.20E-07 |
| 1.84 | 3.38E-07 |
| 1.85 | 3.36E-07 |
| 1.86 | 3.37E-07 |
| 1.87 | 3.36E-07 |
| 1.88 | 3.23E-07 |
| 1.89 | 3.31E-07 |
| 1.9  | 3.36E-07 |
| 1.91 | 3.34E-07 |
| 1.92 | 3.28E-07 |
| 1.93 | 3.31E-07 |
| 1.94 | 3.17E-07 |
| 1.95 | 3.25E-07 |
| 1.96 | 3.29E-07 |
| 1.97 | 3.27E-07 |
| 1.98 | 3.19E-07 |
| 1.99 | 3.18E-07 |
| 2    | 3.30E-07 |
| 2.01 | 3.27E-07 |
| 2.02 | 3.21E-07 |
| 2.03 | 3.30E-07 |
| 2.04 | 3.23E-07 |
| 2.05 | 3.25E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |          |
|------|----------|
| 2.06 | 3.31E-07 |
| 2.07 | 3.23E-07 |
| 2.08 | 3.24E-07 |
| 2.09 | 3.32E-07 |
| 2.1  | 3.34E-07 |
| 2.11 | 3.39E-07 |
| 2.12 | 3.37E-07 |
| 2.13 | 3.42E-07 |
| 2.14 | 3.40E-07 |
| 2.15 | 3.44E-07 |
| 2.16 | 3.36E-07 |
| 2.17 | 3.32E-07 |
| 2.18 | 3.45E-07 |
| 2.19 | 3.46E-07 |
| 2.2  | 3.57E-07 |
| 2.21 | 3.61E-07 |
| 2.22 | 3.56E-07 |
| 2.23 | 3.62E-07 |
| 2.24 | 3.52E-07 |
| 2.25 | 3.66E-07 |
| 2.26 | 3.59E-07 |
| 2.27 | 3.73E-07 |
| 2.28 | 3.72E-07 |
| 2.29 | 3.63E-07 |
| 2.3  | 3.58E-07 |
| 2.31 | 3.70E-07 |
| 2.32 | 3.71E-07 |
| 2.33 | 3.55E-07 |
| 2.34 | 3.52E-07 |
| 2.35 | 3.52E-07 |
| 2.36 | 3.44E-07 |
| 2.37 | 3.55E-07 |
| 2.38 | 3.44E-07 |
| 2.39 | 3.48E-07 |
| 2.4  | 3.36E-07 |
| 2.41 | 3.39E-07 |
| 2.42 | 3.30E-07 |
| 2.43 | 3.26E-07 |
| 2.44 | 3.25E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 2.45 | 3.20E-07   |
| 2.46 | 3.17E-07   |
| 2.47 | 3.15E-07   |
| 2.48 | 3.11E-07   |
| 2.49 | 3.11E-07   |
| 2.5  | 3.10E-07   |
| 2.51 | 3.14E-07   |
| 2.52 | 3.06E-07   |
| 2.53 | 3.14E-07   |
| 2.54 | 3.10E-07   |
| 2.55 | 3.20E-07   |
| 2.56 | 3.18E-07   |
| 2.57 | 3.18E-07   |
| 2.58 | 3.15E-07   |
| 2.59 | 3.10E-07   |
| 2.6  | 3.14E-07   |
| 2.61 | 3.17E-07   |
| 2.62 | 3.17E-07   |
| 2.63 | 3.21E-07   |
| 2.64 | 3.14E-07   |
| 2.65 | 3.20E-07   |
| 2.66 | 3.20E-07   |
| 2.67 | 3.23E-07   |
| 2.68 | 3.16E-07   |
| 2.69 | 3.28E-07   |
| 2.7  | 3.31E-07   |
| 2.71 | 3.20E-07   |
| 2.72 | 3.24E-07   |
| 2.73 | 3.27E-07   |
| 2.74 | 3.31E-07   |
| 2.75 | 3.31E-07   |
| 2.76 | 3.28E-07   |
| 2.77 | 3.29E-07   |
| 2.78 | 3.32E-07   |
| 2.79 | 3.26E-07   |
| 2.8  | 3.25E-07   |
| 2.81 | 3.2935E-07 |
| 2.82 | 3.239E-07  |
| 2.83 | 3.189E-07  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 2.84 | 3.1844E-07 |
| 2.85 | 3.1199E-07 |
| 2.86 | 3.262E-07  |
| 2.87 | 3.3258E-07 |
| 2.88 | 3.2052E-07 |
| 2.89 | 3.1744E-07 |
| 2.9  | 3.1437E-07 |
| 2.91 | 3.229E-07  |
| 2.92 | 3.1537E-07 |
| 2.93 | 3.1475E-07 |
| 2.94 | 3.1383E-07 |
| 2.95 | 3.0938E-07 |
| 2.96 | 3.0784E-07 |
| 2.97 | 3.1529E-07 |
| 2.98 | 3.2021E-07 |
| 2.99 | 3.1214E-07 |
| 3    | 3.1268E-07 |
| 3.01 | 3.1452E-07 |
| 3.02 | 3.1199E-07 |
| 3.03 | 3.1299E-07 |
| 3.04 | 3.1276E-07 |
| 3.05 | 3.0638E-07 |
| 3.06 | 3.0784E-07 |
| 3.07 | 3.1137E-07 |
| 3.08 | 3.0461E-07 |
| 3.09 | 3.0438E-07 |
| 3.1  | 3.0369E-07 |
| 3.11 | 3.0715E-07 |
| 3.12 | 3.0238E-07 |
| 3.13 | 3.0008E-07 |
| 3.14 | 2.9478E-07 |
| 3.15 | 3.0653E-07 |
| 3.16 | 3.063E-07  |
| 3.17 | 3.0745E-07 |
| 3.18 | 3.0945E-07 |
| 3.19 | 2.9808E-07 |
| 3.2  | 3.0453E-07 |
| 3.21 | 2.9831E-07 |
| 3.22 | 3.0469E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 3.23 | 3.1314E-07 |
| 3.24 | 3.0108E-07 |
| 3.25 | 3.0415E-07 |
| 3.26 | 3.0277E-07 |
| 3.27 | 2.9839E-07 |
| 3.28 | 3.0884E-07 |
| 3.29 | 3.0991E-07 |
| 3.3  | 3.1276E-07 |
| 3.31 | 3.0722E-07 |
| 3.32 | 3.1667E-07 |
| 3.33 | 3.1145E-07 |
| 3.34 | 3.1245E-07 |
| 3.35 | 3.1099E-07 |
| 3.36 | 3.1675E-07 |
| 3.37 | 3.1598E-07 |
| 3.38 | 3.2513E-07 |
| 3.39 | 3.0999E-07 |
| 3.4  | 3.1898E-07 |
| 3.41 | 3.1375E-07 |
| 3.42 | 3.1352E-07 |
| 3.43 | 3.1414E-07 |
| 3.44 | 3.2274E-07 |
| 3.45 | 3.2451E-07 |
| 3.46 | 3.2689E-07 |
| 3.47 | 3.1852E-07 |
| 3.48 | 3.0945E-07 |
| 3.49 | 3.1752E-07 |
| 3.5  | 3.1614E-07 |
| 3.51 | 3.2067E-07 |
| 3.52 | 3.2551E-07 |
| 3.53 | 3.1491E-07 |
| 3.54 | 3.2689E-07 |
| 3.55 | 3.1944E-07 |
| 3.56 | 3.2121E-07 |
| 3.57 | 3.199E-07  |
| 3.58 | 3.1744E-07 |
| 3.59 | 3.2236E-07 |
| 3.6  | 3.229E-07  |
| 3.61 | 3.2812E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 3.62 | 3.2144E-07 |
| 3.63 | 3.1691E-07 |
| 3.64 | 3.2528E-07 |
| 3.65 | 3.2835E-07 |
| 3.66 | 3.3312E-07 |
| 3.67 | 3.3143E-07 |
| 3.68 | 3.2497E-07 |
| 3.69 | 3.3012E-07 |
| 3.7  | 3.2413E-07 |
| 3.71 | 3.1982E-07 |
| 3.72 | 3.2006E-07 |
| 3.73 | 3.3273E-07 |
| 3.74 | 3.2981E-07 |
| 3.75 | 3.2305E-07 |
| 3.76 | 3.2459E-07 |
| 3.77 | 3.2866E-07 |
| 3.78 | 3.2935E-07 |
| 3.79 | 3.3227E-07 |
| 3.8  | 3.3512E-07 |
| 3.81 | 3.3765E-07 |
| 3.82 | 3.2613E-07 |
| 3.83 | 3.345E-07  |
| 3.84 | 3.3204E-07 |
| 3.85 | 3.282E-07  |
| 3.86 | 3.3473E-07 |
| 3.87 | 3.2866E-07 |
| 3.88 | 3.2935E-07 |
| 3.89 | 3.3012E-07 |
| 3.9  | 3.2067E-07 |
| 3.91 | 3.3804E-07 |
| 3.92 | 3.3619E-07 |
| 3.93 | 3.2636E-07 |
| 3.94 | 3.315E-07  |
| 3.95 | 3.3865E-07 |
| 3.96 | 3.3642E-07 |
| 3.97 | 3.408E-07  |
| 3.98 | 3.4449E-07 |
| 3.99 | 3.3934E-07 |
| 4    | 3.4695E-07 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 4.01 | 3.4987E-07 |
| 4.02 | 3.5164E-07 |
| 4.03 | 3.4541E-07 |
| 4.04 | 3.4518E-07 |
| 4.05 | 3.564E-07  |
| 4.06 | 3.441E-07  |
| 4.07 | 3.3704E-07 |
| 4.08 | 3.3996E-07 |
| 4.09 | 3.4211E-07 |
| 4.1  | 3.5425E-07 |
| 4.11 | 3.3834E-07 |
| 4.12 | 3.4111E-07 |
| 4.13 | 3.4111E-07 |
| 4.14 | 3.4641E-07 |
| 4.15 | 3.4772E-07 |
| 4.16 | 3.4779E-07 |
| 4.17 | 3.4633E-07 |
| 4.18 | 3.4802E-07 |
| 4.19 | 3.4849E-07 |
| 4.2  | 3.4664E-07 |
| 4.21 | 3.5125E-07 |
| 4.22 | 3.4764E-07 |
| 4.23 | 3.4895E-07 |
| 4.24 | 3.534E-07  |
| 4.25 | 3.4825E-07 |
| 4.26 | 3.521E-07  |
| 4.27 | 3.5302E-07 |
| 4.28 | 3.6162E-07 |
| 4.29 | 3.6009E-07 |
| 4.3  | 3.6155E-07 |
| 4.31 | 3.5386E-07 |
| 4.32 | 3.5455E-07 |
| 4.33 | 3.5917E-07 |
| 4.34 | 3.5156E-07 |
| 4.35 | 3.5517E-07 |
| 4.36 | 3.4887E-07 |
| 4.37 | 3.5594E-07 |
| 4.38 | 3.5817E-07 |
| 4.39 | 3.6439E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 4.4  | 3.6401E-07 |
| 4.41 | 3.7123E-07 |
| 4.42 | 3.6508E-07 |
| 4.43 | 3.7284E-07 |
| 4.44 | 3.7031E-07 |
| 4.45 | 3.6685E-07 |
| 4.46 | 3.7361E-07 |
| 4.47 | 3.793E-07  |
| 4.48 | 3.8037E-07 |
| 4.49 | 3.793E-07  |
| 4.5  | 3.733E-07  |
| 4.51 | 3.8229E-07 |
| 4.52 | 3.8314E-07 |
| 4.53 | 3.8675E-07 |
| 4.54 | 3.9413E-07 |
| 4.55 | 3.8406E-07 |
| 4.56 | 3.9489E-07 |
| 4.57 | 3.9382E-07 |
| 4.58 | 4.0219E-07 |
| 4.59 | 4.0089E-07 |
| 4.6  | 4.0819E-07 |
| 4.61 | 4.0481E-07 |
| 4.62 | 4.0342E-07 |
| 4.63 | 4.0957E-07 |
| 4.64 | 4.1257E-07 |
| 4.65 | 4.1226E-07 |
| 4.66 | 4.1034E-07 |
| 4.67 | 4.1126E-07 |
| 4.68 | 4.1226E-07 |
| 4.69 | 4.1118E-07 |
| 4.7  | 4.1802E-07 |
| 4.71 | 4.1848E-07 |
| 4.72 | 4.2278E-07 |
| 4.73 | 4.2578E-07 |
| 4.74 | 4.2355E-07 |
| 4.75 | 4.3439E-07 |
| 4.76 | 4.3723E-07 |
| 4.77 | 4.4745E-07 |
| 4.78 | 4.3454E-07 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 4.79 | 4.496E-07  |
| 4.8  | 4.4906E-07 |
| 4.81 | 4.5605E-07 |
| 4.82 | 4.5544E-07 |
| 4.83 | 4.6889E-07 |
| 4.84 | 4.6827E-07 |
| 4.85 | 4.8126E-07 |
| 4.86 | 4.8932E-07 |
| 4.87 | 4.9171E-07 |
| 4.88 | 5.0085E-07 |
| 4.89 | 5.1491E-07 |
| 4.9  | 5.2405E-07 |
| 4.91 | 5.3873E-07 |
| 4.92 | 5.5202E-07 |
| 4.93 | 5.6117E-07 |
| 4.94 | 5.8353E-07 |
| 4.95 | 5.9974E-07 |
| 4.96 | 6.2325E-07 |
| 4.97 | 6.337E-07  |
| 4.98 | 6.5137E-07 |
| 4.99 | 6.7988E-07 |
| 5    | 7.0516E-07 |
| 5.01 | 7.3543E-07 |
| 5.02 | 7.7369E-07 |
| 5.03 | 8.1196E-07 |
| 5.04 | 8.599E-07  |
| 5.05 | 9.0862E-07 |
| 5.06 | 9.7746E-07 |
| 5.07 | 1.0611E-06 |
| 5.08 | 1.1574E-06 |
| 5.09 | 1.2709E-06 |
| 5.1  | 1.4027E-06 |
| 5.11 | 1.5671E-06 |
| 5.12 | 1.7816E-06 |
| 5.13 | 2.0436E-06 |
| 5.14 | 2.3312E-06 |
| 5.15 | 2.7283E-06 |
| 5.16 | 3.1959E-06 |
| 5.17 | 3.7714E-06 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 5.18 | 4.4567E-06 |
| 5.19 | 5.2984E-06 |
| 5.2  | 6.2612E-06 |
| 5.21 | 7.4688E-06 |
| 5.22 | 8.7352E-06 |
| 5.23 | 1.033E-05  |
| 5.24 | 1.2083E-05 |
| 5.25 | 1.4013E-05 |
| 5.26 | 1.6034E-05 |
| 5.27 | 1.8328E-05 |
| 5.28 | 2.0599E-05 |
| 5.29 | 2.2989E-05 |
| 5.3  | 2.5489E-05 |
| 5.31 | 2.7949E-05 |
| 5.32 | 3.0366E-05 |
| 5.33 | 3.2881E-05 |
| 5.34 | 3.5112E-05 |
| 5.35 | 3.7305E-05 |
| 5.36 | 3.9365E-05 |
| 5.37 | 4.1159E-05 |
| 5.38 | 4.265E-05  |
| 5.39 | 4.4225E-05 |
| 5.4  | 4.5286E-05 |
| 5.41 | 4.6373E-05 |
| 5.42 | 4.723E-05  |
| 5.43 | 4.7666E-05 |
| 5.44 | 4.8021E-05 |
| 5.45 | 4.8178E-05 |
| 5.46 | 4.7973E-05 |
| 5.47 | 4.7954E-05 |
| 5.48 | 4.7598E-05 |
| 5.49 | 4.7074E-05 |
| 5.5  | 4.6683E-05 |
| 5.51 | 4.6159E-05 |
| 5.52 | 4.5704E-05 |
| 5.53 | 4.5336E-05 |
| 5.54 | 4.4934E-05 |
| 5.55 | 4.4457E-05 |
| 5.56 | 4.43E-05   |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 5.57 | 4.4036E-05 |
| 5.58 | 4.3874E-05 |
| 5.59 | 4.382E-05  |
| 5.6  | 4.3817E-05 |
| 5.61 | 4.3668E-05 |
| 5.62 | 4.3664E-05 |
| 5.63 | 4.3563E-05 |
| 5.64 | 4.3445E-05 |
| 5.65 | 4.3395E-05 |
| 5.66 | 4.3178E-05 |
| 5.67 | 4.2992E-05 |
| 5.68 | 4.2995E-05 |
| 5.69 | 4.2694E-05 |
| 5.7  | 4.251E-05  |
| 5.71 | 4.2478E-05 |
| 5.72 | 4.2209E-05 |
| 5.73 | 4.2075E-05 |
| 5.74 | 4.2094E-05 |
| 5.75 | 4.1842E-05 |
| 5.76 | 4.1749E-05 |
| 5.77 | 4.171E-05  |
| 5.78 | 4.1518E-05 |
| 5.79 | 4.1429E-05 |
| 5.8  | 4.1488E-05 |
| 5.81 | 4.1335E-05 |
| 5.82 | 4.1292E-05 |
| 5.83 | 4.1372E-05 |
| 5.84 | 4.1314E-05 |
| 5.85 | 4.1371E-05 |
| 5.86 | 4.1487E-05 |
| 5.87 | 4.1391E-05 |
| 5.88 | 4.1423E-05 |
| 5.89 | 4.1428E-05 |
| 5.9  | 4.14E-05   |
| 5.91 | 4.1486E-05 |
| 5.92 | 4.1431E-05 |
| 5.93 | 4.1463E-05 |
| 5.94 | 4.1496E-05 |
| 5.95 | 4.1505E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 5.96 | 4.148E-05  |
| 5.97 | 4.1463E-05 |
| 5.98 | 4.1379E-05 |
| 5.99 | 4.1139E-05 |
| 6    | 4.102E-05  |
| 6.01 | 4.0938E-05 |
| 6.02 | 4.0819E-05 |
| 6.03 | 4.0764E-05 |
| 6.04 | 4.052E-05  |
| 6.05 | 4.0359E-05 |
| 6.06 | 4.0242E-05 |
| 6.07 | 3.9907E-05 |
| 6.08 | 3.976E-05  |
| 6.09 | 3.97E-05   |
| 6.1  | 3.937E-05  |
| 6.11 | 3.9217E-05 |
| 6.12 | 3.9126E-05 |
| 6.13 | 3.899E-05  |
| 6.14 | 3.8844E-05 |
| 6.15 | 3.877E-05  |
| 6.16 | 3.8482E-05 |
| 6.17 | 3.8277E-05 |
| 6.18 | 3.8243E-05 |
| 6.19 | 3.8058E-05 |
| 6.2  | 3.8036E-05 |
| 6.21 | 3.7938E-05 |
| 6.22 | 3.7803E-05 |
| 6.23 | 3.7878E-05 |
| 6.24 | 3.7647E-05 |
| 6.25 | 3.753E-05  |
| 6.26 | 3.746E-05  |
| 6.27 | 3.7382E-05 |
| 6.28 | 3.7241E-05 |
| 6.29 | 3.7279E-05 |
| 6.3  | 3.7243E-05 |
| 6.31 | 3.7098E-05 |
| 6.32 | 3.7249E-05 |
| 6.33 | 3.7215E-05 |
| 6.34 | 3.6937E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 6.35 | 3.7061E-05 |
| 6.36 | 3.7006E-05 |
| 6.37 | 3.6811E-05 |
| 6.38 | 3.6922E-05 |
| 6.39 | 3.6978E-05 |
| 6.4  | 3.6846E-05 |
| 6.41 | 3.7073E-05 |
| 6.42 | 3.6737E-05 |
| 6.43 | 3.6641E-05 |
| 6.44 | 3.6648E-05 |
| 6.45 | 3.6367E-05 |
| 6.46 | 3.6309E-05 |
| 6.47 | 3.6339E-05 |
| 6.48 | 3.6209E-05 |
| 6.49 | 3.6198E-05 |
| 6.5  | 3.603E-05  |
| 6.51 | 3.5593E-05 |
| 6.52 | 3.547E-05  |
| 6.53 | 3.5227E-05 |
| 6.54 | 3.4867E-05 |
| 6.55 | 3.4623E-05 |
| 6.56 | 3.4499E-05 |
| 6.57 | 3.4207E-05 |
| 6.58 | 3.3914E-05 |
| 6.59 | 3.3712E-05 |
| 6.6  | 3.3278E-05 |
| 6.61 | 3.2986E-05 |
| 6.62 | 3.2627E-05 |
| 6.63 | 3.2327E-05 |
| 6.64 | 3.214E-05  |
| 6.65 | 3.191E-05  |
| 6.66 | 3.1634E-05 |
| 6.67 | 3.147E-05  |
| 6.68 | 3.1263E-05 |
| 6.69 | 3.0931E-05 |
| 6.7  | 3.0833E-05 |
| 6.71 | 3.0667E-05 |
| 6.72 | 3.0559E-05 |
| 6.73 | 3.0609E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 6.74 | 3.06E-05   |
| 6.75 | 3.0499E-05 |
| 6.76 | 3.0625E-05 |
| 6.77 | 3.0643E-05 |
| 6.78 | 3.066E-05  |
| 6.79 | 3.0762E-05 |
| 6.8  | 3.0823E-05 |
| 6.81 | 3.09E-05   |
| 6.82 | 3.1169E-05 |
| 6.83 | 3.1238E-05 |
| 6.84 | 3.1413E-05 |
| 6.85 | 3.1628E-05 |
| 6.86 | 3.1712E-05 |
| 6.87 | 3.1802E-05 |
| 6.88 | 3.193E-05  |
| 6.89 | 3.1964E-05 |
| 6.9  | 3.2118E-05 |
| 6.91 | 3.2283E-05 |
| 6.92 | 3.233E-05  |
| 6.93 | 3.2406E-05 |
| 6.94 | 3.2458E-05 |
| 6.95 | 3.2332E-05 |
| 6.96 | 3.2459E-05 |
| 6.97 | 3.2475E-05 |
| 6.98 | 3.2401E-05 |
| 6.99 | 3.2392E-05 |
| 7    | 3.244E-05  |
| 7.01 | 3.2326E-05 |
| 7.02 | 3.2276E-05 |
| 7.03 | 3.2199E-05 |
| 7.04 | 3.2111E-05 |
| 7.05 | 3.2067E-05 |
| 7.06 | 3.2043E-05 |
| 7.07 | 3.2041E-05 |
| 7.08 | 3.2067E-05 |
| 7.09 | 3.2008E-05 |
| 7.1  | 3.1943E-05 |
| 7.11 | 3.1914E-05 |
| 7.12 | 3.1845E-05 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 7.13 | 3.1759E-05 |
| 7.14 | 3.1822E-05 |
| 7.15 | 3.1755E-05 |
| 7.16 | 3.1776E-05 |
| 7.17 | 3.1734E-05 |
| 7.18 | 3.1602E-05 |
| 7.19 | 3.1558E-05 |
| 7.2  | 3.1389E-05 |
| 7.21 | 3.1296E-05 |
| 7.22 | 3.116E-05  |
| 7.23 | 3.0993E-05 |
| 7.24 | 3.0993E-05 |
| 7.25 | 3.0868E-05 |
| 7.26 | 3.0797E-05 |
| 7.27 | 3.062E-05  |
| 7.28 | 3.0407E-05 |
| 7.29 | 3.0398E-05 |
| 7.3  | 3.0198E-05 |
| 7.31 | 3.0107E-05 |
| 7.32 | 3.0167E-05 |
| 7.33 | 2.987E-05  |
| 7.34 | 2.9785E-05 |
| 7.35 | 2.9736E-05 |
| 7.36 | 2.9495E-05 |
| 7.37 | 2.9458E-05 |
| 7.38 | 2.9496E-05 |
| 7.39 | 2.939E-05  |
| 7.4  | 2.9375E-05 |
| 7.41 | 2.9373E-05 |
| 7.42 | 2.9189E-05 |
| 7.43 | 2.9046E-05 |
| 7.44 | 2.9128E-05 |
| 7.45 | 2.8981E-05 |
| 7.46 | 2.9016E-05 |
| 7.47 | 2.9115E-05 |
| 7.48 | 2.8967E-05 |
| 7.49 | 2.8922E-05 |
| 7.5  | 2.8919E-05 |
| 7.51 | 2.889E-05  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 7.52 | 2.8908E-05 |
| 7.53 | 2.8935E-05 |
| 7.54 | 2.8799E-05 |
| 7.55 | 2.8926E-05 |
| 7.56 | 2.8914E-05 |
| 7.57 | 2.897E-05  |
| 7.58 | 2.9055E-05 |
| 7.59 | 2.9093E-05 |
| 7.6  | 2.9012E-05 |
| 7.61 | 2.9132E-05 |
| 7.62 | 2.9157E-05 |
| 7.63 | 2.9202E-05 |
| 7.64 | 2.9286E-05 |
| 7.65 | 2.9264E-05 |
| 7.66 | 2.9334E-05 |
| 7.67 | 2.9354E-05 |
| 7.68 | 2.9245E-05 |
| 7.69 | 2.9331E-05 |
| 7.7  | 2.9443E-05 |
| 7.71 | 2.9382E-05 |
| 7.72 | 2.9367E-05 |
| 7.73 | 2.9468E-05 |
| 7.74 | 2.9427E-05 |
| 7.75 | 2.9316E-05 |
| 7.76 | 2.945E-05  |
| 7.77 | 2.9364E-05 |
| 7.78 | 2.9354E-05 |
| 7.79 | 2.9359E-05 |
| 7.8  | 2.9272E-05 |
| 7.81 | 2.9363E-05 |
| 7.82 | 2.9457E-05 |
| 7.83 | 2.9466E-05 |
| 7.84 | 2.9598E-05 |
| 7.85 | 2.9782E-05 |
| 7.86 | 2.9862E-05 |
| 7.87 | 2.9925E-05 |
| 7.88 | 3.0152E-05 |
| 7.89 | 3.0336E-05 |
| 7.9  | 3.0549E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 7.91 | 3.092E-05  |
| 7.92 | 3.1099E-05 |
| 7.93 | 3.1419E-05 |
| 7.94 | 3.1724E-05 |
| 7.95 | 3.2001E-05 |
| 7.96 | 3.2262E-05 |
| 7.97 | 3.258E-05  |
| 7.98 | 3.2947E-05 |
| 7.99 | 3.3401E-05 |
| 8    | 3.3865E-05 |
| 8.01 | 3.4205E-05 |
| 8.02 | 3.4523E-05 |
| 8.03 | 3.4855E-05 |
| 8.04 | 3.5009E-05 |
| 8.05 | 3.5376E-05 |
| 8.06 | 3.5726E-05 |
| 8.07 | 3.5916E-05 |
| 8.08 | 3.6192E-05 |
| 8.09 | 3.6567E-05 |
| 8.1  | 3.6768E-05 |
| 8.11 | 3.6842E-05 |
| 8.12 | 3.6852E-05 |
| 8.13 | 3.7298E-05 |
| 8.14 | 3.75E-05   |
| 8.15 | 3.757E-05  |
| 8.16 | 3.8057E-05 |
| 8.17 | 3.823E-05  |
| 8.18 | 3.8227E-05 |
| 8.19 | 3.8493E-05 |
| 8.2  | 3.8876E-05 |
| 8.21 | 3.8718E-05 |
| 8.22 | 3.8847E-05 |
| 8.23 | 3.8937E-05 |
| 8.24 | 3.8687E-05 |
| 8.25 | 3.9018E-05 |
| 8.26 | 3.9024E-05 |
| 8.27 | 3.8849E-05 |
| 8.28 | 3.9106E-05 |
| 8.29 | 3.9174E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 8.3  | 3.9161E-05 |
| 8.31 | 3.9376E-05 |
| 8.32 | 3.9419E-05 |
| 8.33 | 3.9113E-05 |
| 8.34 | 3.9317E-05 |
| 8.35 | 3.9336E-05 |
| 8.36 | 3.9193E-05 |
| 8.37 | 3.9435E-05 |
| 8.38 | 3.9018E-05 |
| 8.39 | 3.8932E-05 |
| 8.4  | 3.912E-05  |
| 8.41 | 3.8994E-05 |
| 8.42 | 3.8571E-05 |
| 8.43 | 3.8483E-05 |
| 8.44 | 3.834E-05  |
| 8.45 | 3.818E-05  |
| 8.46 | 3.811E-05  |
| 8.47 | 3.7759E-05 |
| 8.48 | 3.7319E-05 |
| 8.49 | 3.7062E-05 |
| 8.5  | 3.6871E-05 |
| 8.51 | 3.6257E-05 |
| 8.52 | 3.6395E-05 |
| 8.53 | 3.6093E-05 |
| 8.54 | 3.5779E-05 |
| 8.55 | 3.5614E-05 |
| 8.56 | 3.5082E-05 |
| 8.57 | 3.4956E-05 |
| 8.58 | 3.4753E-05 |
| 8.59 | 3.4181E-05 |
| 8.6  | 3.3882E-05 |
| 8.61 | 3.3768E-05 |
| 8.62 | 3.3237E-05 |
| 8.63 | 3.2986E-05 |
| 8.64 | 3.2986E-05 |
| 8.65 | 3.2487E-05 |
| 8.66 | 3.2544E-05 |
| 8.67 | 3.235E-05  |
| 8.68 | 3.2037E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 8.69 | 3.1731E-05 |
| 8.7  | 3.1714E-05 |
| 8.71 | 3.1463E-05 |
| 8.72 | 3.1339E-05 |
| 8.73 | 3.1225E-05 |
| 8.74 | 3.1102E-05 |
| 8.75 | 3.0937E-05 |
| 8.76 | 3.1064E-05 |
| 8.77 | 3.0889E-05 |
| 8.78 | 3.0771E-05 |
| 8.79 | 3.0747E-05 |
| 8.8  | 3.0607E-05 |
| 8.81 | 3.0485E-05 |
| 8.82 | 3.0719E-05 |
| 8.83 | 3.0697E-05 |
| 8.84 | 3.0744E-05 |
| 8.85 | 3.084E-05  |
| 8.86 | 3.0674E-05 |
| 8.87 | 3.0838E-05 |
| 8.88 | 3.082E-05  |
| 8.89 | 3.0741E-05 |
| 8.9  | 3.0837E-05 |
| 8.91 | 3.0766E-05 |
| 8.92 | 3.0679E-05 |
| 8.93 | 3.0786E-05 |
| 8.94 | 3.0767E-05 |
| 8.95 | 3.0726E-05 |
| 8.96 | 3.0661E-05 |
| 8.97 | 3.0528E-05 |
| 8.98 | 3.0368E-05 |
| 8.99 | 3.0334E-05 |
| 9    | 3.0197E-05 |
| 9.01 | 3.0174E-05 |
| 9.02 | 3.0282E-05 |
| 9.03 | 3.015E-05  |
| 9.04 | 3.0086E-05 |
| 9.05 | 3.0138E-05 |
| 9.06 | 3.0066E-05 |
| 9.07 | 3.0053E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 9.08 | 3.01E-05   |
| 9.09 | 3.0043E-05 |
| 9.1  | 3.0086E-05 |
| 9.11 | 3.0247E-05 |
| 9.12 | 3.0239E-05 |
| 9.13 | 3.04E-05   |
| 9.14 | 3.0558E-05 |
| 9.15 | 3.0577E-05 |
| 9.16 | 3.0642E-05 |
| 9.17 | 3.0907E-05 |
| 9.18 | 3.0784E-05 |
| 9.19 | 3.109E-05  |
| 9.2  | 3.1166E-05 |
| 9.21 | 3.1308E-05 |
| 9.22 | 3.16E-05   |
| 9.23 | 3.1616E-05 |
| 9.24 | 3.1611E-05 |
| 9.25 | 3.1875E-05 |
| 9.26 | 3.1856E-05 |
| 9.27 | 3.1995E-05 |
| 9.28 | 3.1911E-05 |
| 9.29 | 3.2105E-05 |
| 9.3  | 3.2192E-05 |
| 9.31 | 3.2474E-05 |
| 9.32 | 3.2422E-05 |
| 9.33 | 3.2366E-05 |
| 9.34 | 3.2597E-05 |
| 9.35 | 3.2512E-05 |
| 9.36 | 3.2659E-05 |
| 9.37 | 3.2821E-05 |
| 9.38 | 3.2696E-05 |
| 9.39 | 3.2892E-05 |
| 9.4  | 3.2922E-05 |
| 9.41 | 3.2876E-05 |
| 9.42 | 3.2842E-05 |
| 9.43 | 3.2959E-05 |
| 9.44 | 3.2916E-05 |
| 9.45 | 3.3107E-05 |
| 9.46 | 3.3186E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|      |            |
|------|------------|
| 9.47 | 3.3069E-05 |
| 9.48 | 3.3154E-05 |
| 9.49 | 3.32E-05   |
| 9.5  | 3.3118E-05 |
| 9.51 | 3.301E-05  |
| 9.52 | 3.3079E-05 |
| 9.53 | 3.3078E-05 |
| 9.54 | 3.3006E-05 |
| 9.55 | 3.3312E-05 |
| 9.56 | 3.328E-05  |
| 9.57 | 3.3336E-05 |
| 9.58 | 3.343E-05  |
| 9.59 | 3.3536E-05 |
| 9.6  | 3.3606E-05 |
| 9.61 | 3.3691E-05 |
| 9.62 | 3.3655E-05 |
| 9.63 | 3.4132E-05 |
| 9.64 | 3.4248E-05 |
| 9.65 | 3.4458E-05 |
| 9.66 | 3.4758E-05 |
| 9.67 | 3.5007E-05 |
| 9.68 | 3.502E-05  |
| 9.69 | 3.548E-05  |
| 9.7  | 3.5562E-05 |
| 9.71 | 3.5716E-05 |
| 9.72 | 3.6128E-05 |
| 9.73 | 3.643E-05  |
| 9.74 | 3.6685E-05 |
| 9.75 | 3.6892E-05 |
| 9.76 | 3.7255E-05 |
| 9.77 | 3.6918E-05 |
| 9.78 | 3.7025E-05 |
| 9.79 | 3.7348E-05 |
| 9.8  | 3.7394E-05 |
| 9.81 | 3.7776E-05 |
| 9.82 | 3.7595E-05 |
| 9.83 | 3.7809E-05 |
| 9.84 | 3.8182E-05 |
| 9.85 | 3.8224E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 9.86  | 3.817E-05  |
| 9.87  | 3.8112E-05 |
| 9.88  | 3.8083E-05 |
| 9.89  | 3.846E-05  |
| 9.9   | 3.8593E-05 |
| 9.91  | 3.8509E-05 |
| 9.92  | 3.8597E-05 |
| 9.93  | 3.8503E-05 |
| 9.94  | 3.8377E-05 |
| 9.95  | 3.8141E-05 |
| 9.96  | 3.8211E-05 |
| 9.97  | 3.7849E-05 |
| 9.98  | 3.7808E-05 |
| 9.99  | 3.7739E-05 |
| 10    | 3.7559E-05 |
| 10.01 | 3.7435E-05 |
| 10.02 | 3.7379E-05 |
| 10.03 | 3.7358E-05 |
| 10.04 | 3.7144E-05 |
| 10.05 | 3.7161E-05 |
| 10.06 | 3.6948E-05 |
| 10.07 | 3.6846E-05 |
| 10.08 | 3.673E-05  |
| 10.09 | 3.661E-05  |
| 10.1  | 3.6586E-05 |
| 10.11 | 3.6637E-05 |
| 10.12 | 3.6312E-05 |
| 10.13 | 3.6339E-05 |
| 10.14 | 3.6309E-05 |
| 10.15 | 3.6094E-05 |
| 10.16 | 3.5819E-05 |
| 10.17 | 3.5568E-05 |
| 10.18 | 3.5414E-05 |
| 10.19 | 3.5552E-05 |
| 10.2  | 3.5464E-05 |
| 10.21 | 3.5298E-05 |
| 10.22 | 3.5413E-05 |
| 10.23 | 3.5433E-05 |
| 10.24 | 3.5295E-05 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 10.25 | 3.5373E-05 |
| 10.26 | 3.5053E-05 |
| 10.27 | 3.5314E-05 |
| 10.28 | 3.556E-05  |
| 10.29 | 3.5403E-05 |
| 10.3  | 3.5529E-05 |
| 10.31 | 3.5694E-05 |
| 10.32 | 3.5878E-05 |
| 10.33 | 3.5547E-05 |
| 10.34 | 3.624E-05  |
| 10.35 | 3.6151E-05 |
| 10.36 | 3.6275E-05 |
| 10.37 | 3.6857E-05 |
| 10.38 | 3.6594E-05 |
| 10.39 | 3.7185E-05 |
| 10.4  | 3.7261E-05 |
| 10.41 | 3.736E-05  |
| 10.42 | 3.7435E-05 |
| 10.43 | 3.7445E-05 |
| 10.44 | 3.7268E-05 |
| 10.45 | 3.739E-05  |
| 10.46 | 3.7525E-05 |
| 10.47 | 3.7329E-05 |
| 10.48 | 3.7664E-05 |
| 10.49 | 3.7751E-05 |
| 10.5  | 3.715E-05  |
| 10.51 | 3.7168E-05 |
| 10.52 | 3.7282E-05 |
| 10.53 | 3.6917E-05 |
| 10.54 | 3.7109E-05 |
| 10.55 | 3.7244E-05 |
| 10.56 | 3.6942E-05 |
| 10.57 | 3.7088E-05 |
| 10.58 | 3.6979E-05 |
| 10.59 | 3.706E-05  |
| 10.6  | 3.6984E-05 |
| 10.61 | 3.6885E-05 |
| 10.62 | 3.6643E-05 |
| 10.63 | 3.6897E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 10.64 | 3.7016E-05 |
| 10.65 | 3.7204E-05 |
| 10.66 | 3.7584E-05 |
| 10.67 | 3.7511E-05 |
| 10.68 | 3.7576E-05 |
| 10.69 | 3.7561E-05 |
| 10.7  | 3.778E-05  |
| 10.71 | 3.7817E-05 |
| 10.72 | 3.829E-05  |
| 10.73 | 3.7672E-05 |
| 10.74 | 3.844E-05  |
| 10.75 | 3.7993E-05 |
| 10.76 | 3.8432E-05 |
| 10.77 | 3.9198E-05 |
| 10.78 | 3.8386E-05 |
| 10.79 | 3.8372E-05 |
| 10.8  | 3.8964E-05 |
| 10.81 | 3.896E-05  |
| 10.82 | 3.9034E-05 |
| 10.83 | 3.9287E-05 |
| 10.84 | 3.9943E-05 |
| 10.85 | 3.9684E-05 |
| 10.86 | 3.9914E-05 |
| 10.87 | 4.0105E-05 |
| 10.88 | 3.9263E-05 |
| 10.89 | 4.0748E-05 |
| 10.9  | 4.0679E-05 |
| 10.91 | 4.0381E-05 |
| 10.92 | 4.1251E-05 |
| 10.93 | 4.1445E-05 |
| 10.94 | 4.112E-05  |
| 10.95 | 4.0572E-05 |
| 10.96 | 4.1346E-05 |
| 10.97 | 4.391E-05  |
| 10.98 | 4.2616E-05 |
| 10.99 | 4.3225E-05 |
| 11    | 4.3974E-05 |
| 11.01 | 4.3702E-05 |
| 11.02 | 4.3219E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 11.03 | 4.3801E-05 |
| 11.04 | 4.2929E-05 |
| 11.05 | 4.5232E-05 |
| 11.06 | 4.3691E-05 |
| 11.07 | 4.4298E-05 |
| 11.08 | 4.6667E-05 |
| 11.09 | 4.6586E-05 |
| 11.1  | 4.341E-05  |
| 11.11 | 4.0314E-05 |
| 11.12 | 4.7389E-05 |
| 11.13 | 4.4445E-05 |
| 11.14 | 4.4079E-05 |
| 11.15 | 5.6664E-05 |
| 11.16 | 4.3749E-05 |
| 11.17 | 4.7968E-05 |
| 11.18 | 3.9671E-05 |
| 11.19 | 4.6962E-05 |
| 11.2  | 4.7472E-05 |
| 11.21 | 3.6155E-05 |
| 11.22 | 3.4875E-05 |
| 11.23 | 4.1061E-05 |
| 11.24 | 5.6265E-05 |
| 11.25 | 4.5072E-05 |
| 11.26 | 5.2643E-05 |
| 11.27 | 4.0066E-05 |
| 11.28 | 5.6089E-05 |
| 11.29 | 4.6962E-05 |
| 11.3  | 5.0999E-05 |
| 11.31 | 5.2001E-05 |
| 11.32 | 4.3389E-05 |
| 11.33 | 4.9069E-05 |
| 11.34 | 5.5308E-05 |
| 11.35 | 5.4103E-05 |
| 11.36 | 4.7865E-05 |
| 11.37 | 4.2598E-05 |
| 11.38 | 5.0084E-05 |
| 11.39 | 4.2844E-05 |
| 11.4  | 5.1836E-05 |
| 11.41 | 4.3689E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 11.42 | 5.4435E-05 |
| 11.43 | 4.8291E-05 |
| 11.44 | 5.1412E-05 |
| 11.45 | 5.4855E-05 |
| 11.46 | 5.5424E-05 |
| 11.47 | 5.2704E-05 |
| 11.48 | 5.7775E-05 |
| 11.49 | 4.8691E-05 |
| 11.5  | 5.3212E-05 |
| 11.51 | 5.2428E-05 |
| 11.52 | 5.3335E-05 |
| 11.53 | 5.527E-05  |
| 11.54 | 5.3567E-05 |
| 11.55 | 6.0978E-05 |
| 11.56 | 5.806E-05  |
| 11.57 | 5.592E-05  |
| 11.58 | 5.8286E-05 |
| 11.59 | 6.03E-05   |
| 11.6  | 5.5509E-05 |
| 11.61 | 6.1182E-05 |
| 11.62 | 6.126E-05  |
| 11.63 | 6.4284E-05 |
| 11.64 | 6.7759E-05 |
| 11.65 | 6.6301E-05 |
| 11.66 | 6.6198E-05 |
| 11.67 | 6.5689E-05 |
| 11.68 | 6.337E-05  |
| 11.69 | 6.5573E-05 |
| 11.7  | 6.7243E-05 |
| 11.71 | 7.0261E-05 |
| 11.72 | 6.9826E-05 |
| 11.73 | 6.9878E-05 |
| 11.74 | 7.3653E-05 |
| 11.75 | 7.2529E-05 |
| 11.76 | 7.3761E-05 |
| 11.77 | 7.4571E-05 |
| 11.78 | 7.5887E-05 |
| 11.79 | 7.7036E-05 |
| 11.8  | 7.8279E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 11.81 | 7.8459E-05 |
| 11.82 | 7.9949E-05 |
| 11.83 | 7.9683E-05 |
| 11.84 | 7.9917E-05 |
| 11.85 | 8.1031E-05 |
| 11.86 | 8.1427E-05 |
| 11.87 | 8.1818E-05 |
| 11.88 | 8.3017E-05 |
| 11.89 | 8.3392E-05 |
| 11.9  | 8.3505E-05 |
| 11.91 | 8.334E-05  |
| 11.92 | 8.3941E-05 |
| 11.93 | 8.3914E-05 |
| 11.94 | 8.431E-05  |
| 11.95 | 8.4874E-05 |
| 11.96 | 8.6117E-05 |
| 11.97 | 8.5996E-05 |
| 11.98 | 8.4615E-05 |
| 11.99 | 8.5192E-05 |
| 12    | 8.5081E-05 |
| 12.01 | 8.4636E-05 |
| 12.02 | 8.2793E-05 |
| 12.03 | 8.2934E-05 |
| 12.04 | 8.254E-05  |
| 12.05 | 8.2027E-05 |
| 12.06 | 8.1911E-05 |
| 12.07 | 8.0502E-05 |
| 12.08 | 7.9811E-05 |
| 12.09 | 8.0165E-05 |
| 12.1  | 7.8551E-05 |
| 12.11 | 7.7364E-05 |
| 12.12 | 7.802E-05  |
| 12.13 | 7.7496E-05 |
| 12.14 | 7.5948E-05 |
| 12.15 | 7.6413E-05 |
| 12.16 | 7.5608E-05 |
| 12.17 | 7.6178E-05 |
| 12.18 | 7.6338E-05 |
| 12.19 | 7.618E-05  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 12.2  | 7.6249E-05 |
| 12.21 | 7.6612E-05 |
| 12.22 | 7.6662E-05 |
| 12.23 | 7.6677E-05 |
| 12.24 | 7.7819E-05 |
| 12.25 | 7.8158E-05 |
| 12.26 | 7.9254E-05 |
| 12.27 | 7.9815E-05 |
| 12.28 | 8.0404E-05 |
| 12.29 | 8.2363E-05 |
| 12.3  | 8.2351E-05 |
| 12.31 | 8.284E-05  |
| 12.32 | 8.4256E-05 |
| 12.33 | 8.4739E-05 |
| 12.34 | 8.5978E-05 |
| 12.35 | 8.7784E-05 |
| 12.36 | 8.9026E-05 |
| 12.37 | 9.0229E-05 |
| 12.38 | 9.1673E-05 |
| 12.39 | 9.2993E-05 |
| 12.4  | 9.3968E-05 |
| 12.41 | 9.4979E-05 |
| 12.42 | 9.6459E-05 |
| 12.43 | 9.8982E-05 |
| 12.44 | 0.00010147 |
| 12.45 | 0.00010231 |
| 12.46 | 0.00010515 |
| 12.47 | 0.00010783 |
| 12.48 | 0.00010922 |
| 12.49 | 0.0001113  |
| 12.5  | 0.00011417 |
| 12.51 | 0.00011572 |
| 12.52 | 0.00011786 |
| 12.53 | 0.00012167 |
| 12.54 | 0.0001232  |
| 12.55 | 0.00012574 |
| 12.56 | 0.00012916 |
| 12.57 | 0.00013007 |
| 12.58 | 0.00013309 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 12.59 | 0.00013587 |
| 12.6  | 0.0001364  |
| 12.61 | 0.00013853 |
| 12.62 | 0.00014197 |
| 12.63 | 0.00014287 |
| 12.64 | 0.0001449  |
| 12.65 | 0.00014629 |
| 12.66 | 0.00014805 |
| 12.67 | 0.00014975 |
| 12.68 | 0.00015136 |
| 12.69 | 0.00014922 |
| 12.7  | 0.00015209 |
| 12.71 | 0.00015412 |
| 12.72 | 0.00015238 |
| 12.73 | 0.00015501 |
| 12.74 | 0.00015545 |
| 12.75 | 0.00015288 |
| 12.76 | 0.00015329 |
| 12.77 | 0.00015102 |
| 12.78 | 0.00015055 |
| 12.79 | 0.00015066 |
| 12.8  | 0.00014991 |
| 12.81 | 0.00014659 |
| 12.82 | 0.0001465  |
| 12.83 | 0.00014417 |
| 12.84 | 0.00014082 |
| 12.85 | 0.00013942 |
| 12.86 | 0.00013572 |
| 12.87 | 0.00013441 |
| 12.88 | 0.00013229 |
| 12.89 | 0.0001294  |
| 12.9  | 0.00012644 |
| 12.91 | 0.00012431 |
| 12.92 | 0.00012133 |
| 12.93 | 0.00012099 |
| 12.94 | 0.00011802 |
| 12.95 | 0.0001156  |
| 12.96 | 0.00011364 |
| 12.97 | 0.00011209 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 12.98 | 0.00011041 |
| 12.99 | 0.00010907 |
| 13    | 0.00010848 |
| 13.01 | 0.00010726 |
| 13.02 | 0.0001074  |
| 13.03 | 0.00010567 |
| 13.04 | 0.00010411 |
| 13.05 | 0.00010487 |
| 13.06 | 0.00010495 |
| 13.07 | 0.00010449 |
| 13.08 | 0.0001059  |
| 13.09 | 0.00010663 |
| 13.1  | 0.00010672 |
| 13.11 | 0.0001076  |
| 13.12 | 0.00010819 |
| 13.13 | 0.0001095  |
| 13.14 | 0.00011186 |
| 13.15 | 0.00011375 |
| 13.16 | 0.00011547 |
| 13.17 | 0.0001184  |
| 13.18 | 0.0001214  |
| 13.19 | 0.00012228 |
| 13.2  | 0.00012518 |
| 13.21 | 0.00012707 |
| 13.22 | 0.00013024 |
| 13.23 | 0.0001343  |
| 13.24 | 0.00013803 |
| 13.25 | 0.00014237 |
| 13.26 | 0.00014886 |
| 13.27 | 0.00015066 |
| 13.28 | 0.00015537 |
| 13.29 | 0.00016172 |
| 13.3  | 0.00016402 |
| 13.31 | 0.0001694  |
| 13.32 | 0.00017599 |
| 13.33 | 0.00018017 |
| 13.34 | 0.00018487 |
| 13.35 | 0.00019273 |
| 13.36 | 0.00019421 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 13.37 | 0.0001995  |
| 13.38 | 0.00020618 |
| 13.39 | 0.00021173 |
| 13.4  | 0.00021634 |
| 13.41 | 0.00022492 |
| 13.42 | 0.0002289  |
| 13.43 | 0.00023441 |
| 13.44 | 0.00024036 |
| 13.45 | 0.0002455  |
| 13.46 | 0.00024922 |
| 13.47 | 0.00025463 |
| 13.48 | 0.00025683 |
| 13.49 | 0.0002636  |
| 13.5  | 0.00026855 |
| 13.51 | 0.00027002 |
| 13.52 | 0.00027363 |
| 13.53 | 0.00027695 |
| 13.54 | 0.00027874 |
| 13.55 | 0.00028174 |
| 13.56 | 0.00028319 |
| 13.57 | 0.0002831  |
| 13.58 | 0.00028616 |
| 13.59 | 0.00028704 |
| 13.6  | 0.000288   |
| 13.61 | 0.00028931 |
| 13.62 | 0.00028991 |
| 13.63 | 0.00028997 |
| 13.64 | 0.00028978 |
| 13.65 | 0.00029006 |
| 13.66 | 0.00029016 |
| 13.67 | 0.00029013 |
| 13.68 | 0.00028857 |
| 13.69 | 0.00028892 |
| 13.7  | 0.00028981 |
| 13.71 | 0.00028997 |
| 13.72 | 0.00028799 |
| 13.73 | 0.00028869 |
| 13.74 | 0.00028579 |
| 13.75 | 0.00028597 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 13.76 | 0.00028546 |
| 13.77 | 0.00028457 |
| 13.78 | 0.00028443 |
| 13.79 | 0.00028429 |
| 13.8  | 0.00028246 |
| 13.81 | 0.00028493 |
| 13.82 | 0.00028702 |
| 13.83 | 0.000288   |
| 13.84 | 0.00028745 |
| 13.85 | 0.00028915 |
| 13.86 | 0.00029098 |
| 13.87 | 0.0002929  |
| 13.88 | 0.00029407 |
| 13.89 | 0.00029433 |
| 13.9  | 0.00029545 |
| 13.91 | 0.00029552 |
| 13.92 | 0.00029586 |
| 13.93 | 0.0002959  |
| 13.94 | 0.00029712 |
| 13.95 | 0.00029705 |
| 13.96 | 0.00029795 |
| 13.97 | 0.0002986  |
| 13.98 | 0.00029865 |
| 13.99 | 0.00029881 |
| 14    | 0.00029926 |
| 14.01 | 0.00029923 |
| 14.02 | 0.0003003  |
| 14.03 | 0.00030061 |
| 14.04 | 0.00030131 |
| 14.05 | 0.0003015  |
| 14.06 | 0.00030178 |
| 14.07 | 0.00030201 |
| 14.08 | 0.00030338 |
| 14.09 | 0.00030266 |
| 14.1  | 0.00030341 |
| 14.11 | 0.00030472 |
| 14.12 | 0.00030489 |
| 14.13 | 0.00030515 |
| 14.14 | 0.00030671 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 14.15 | 0.00030735 |
| 14.16 | 0.00030794 |
| 14.17 | 0.00030823 |
| 14.18 | 0.00030898 |
| 14.19 | 0.00030944 |
| 14.2  | 0.00031015 |
| 14.21 | 0.00031041 |
| 14.22 | 0.00031112 |
| 14.23 | 0.00031223 |
| 14.24 | 0.00031238 |
| 14.25 | 0.00031297 |
| 14.26 | 0.00031377 |
| 14.27 | 0.00031416 |
| 14.28 | 0.00031467 |
| 14.29 | 0.00031511 |
| 14.3  | 0.00031507 |
| 14.31 | 0.00031586 |
| 14.32 | 0.000316   |
| 14.33 | 0.00031623 |
| 14.34 | 0.00031642 |
| 14.35 | 0.00031702 |
| 14.36 | 0.00031688 |
| 14.37 | 0.00031701 |
| 14.38 | 0.0003176  |
| 14.39 | 0.00031788 |
| 14.4  | 0.00031841 |
| 14.41 | 0.00031829 |
| 14.42 | 0.00031868 |
| 14.43 | 0.00031917 |
| 14.44 | 0.00031928 |
| 14.45 | 0.00031932 |
| 14.46 | 0.00031956 |
| 14.47 | 0.00031994 |
| 14.48 | 0.00032039 |
| 14.49 | 0.00032112 |
| 14.5  | 0.00032103 |
| 14.51 | 0.00032187 |
| 14.52 | 0.00032181 |
| 14.53 | 0.0003227  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 14.54 | 0.00032264 |
| 14.55 | 0.0003228  |
| 14.56 | 0.0003232  |
| 14.57 | 0.00032407 |
| 14.58 | 0.00032466 |
| 14.59 | 0.00032459 |
| 14.6  | 0.00032496 |
| 14.61 | 0.00032547 |
| 14.62 | 0.00032491 |
| 14.63 | 0.00032563 |
| 14.64 | 0.00032617 |
| 14.65 | 0.00032575 |
| 14.66 | 0.00032588 |
| 14.67 | 0.00032612 |
| 14.68 | 0.00032651 |
| 14.69 | 0.0003262  |
| 14.7  | 0.00032612 |
| 14.71 | 0.00032651 |
| 14.72 | 0.00032643 |
| 14.73 | 0.0003259  |
| 14.74 | 0.0003267  |
| 14.75 | 0.00032521 |
| 14.76 | 0.00032555 |
| 14.77 | 0.00032531 |
| 14.78 | 0.00032486 |
| 14.79 | 0.00032469 |
| 14.8  | 0.00032416 |
| 14.81 | 0.00032408 |
| 14.82 | 0.00032349 |
| 14.83 | 0.00032312 |
| 14.84 | 0.00032311 |
| 14.85 | 0.00032256 |
| 14.86 | 0.00032249 |
| 14.87 | 0.0003228  |
| 14.88 | 0.00032126 |
| 14.89 | 0.00032078 |
| 14.9  | 0.00032072 |
| 14.91 | 0.00032051 |
| 14.92 | 0.00031994 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 14.93 | 0.00032021 |
| 14.94 | 0.00031936 |
| 14.95 | 0.0003195  |
| 14.96 | 0.00031855 |
| 14.97 | 0.00031812 |
| 14.98 | 0.00031801 |
| 14.99 | 0.00031759 |
| 15    | 0.00031682 |
| 15.01 | 0.00031656 |
| 15.02 | 0.0003161  |
| 15.03 | 0.00031586 |
| 15.04 | 0.00031568 |
| 15.05 | 0.00031572 |
| 15.06 | 0.00031461 |
| 15.07 | 0.00031484 |
| 15.08 | 0.00031475 |
| 15.09 | 0.00031422 |
| 15.1  | 0.00031419 |
| 15.11 | 0.00031408 |
| 15.12 | 0.00031393 |
| 15.13 | 0.00031392 |
| 15.14 | 0.00031386 |
| 15.15 | 0.0003139  |
| 15.16 | 0.00031396 |
| 15.17 | 0.00031395 |
| 15.18 | 0.00031382 |
| 15.19 | 0.00031409 |
| 15.2  | 0.00031464 |
| 15.21 | 0.00031498 |
| 15.22 | 0.00031523 |
| 15.23 | 0.00031563 |
| 15.24 | 0.00031601 |
| 15.25 | 0.00031643 |
| 15.26 | 0.00031645 |
| 15.27 | 0.00031669 |
| 15.28 | 0.00031739 |
| 15.29 | 0.00031778 |
| 15.3  | 0.00031805 |
| 15.31 | 0.00031822 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 15.32 | 0.00031852 |
| 15.33 | 0.00031885 |
| 15.34 | 0.00031923 |
| 15.35 | 0.0003194  |
| 15.36 | 0.00031985 |
| 15.37 | 0.00032    |
| 15.38 | 0.00032043 |
| 15.39 | 0.00032017 |
| 15.4  | 0.00032042 |
| 15.41 | 0.00032076 |
| 15.42 | 0.00032104 |
| 15.43 | 0.00032075 |
| 15.44 | 0.000321   |
| 15.45 | 0.00032128 |
| 15.46 | 0.00032126 |
| 15.47 | 0.0003215  |
| 15.48 | 0.00032142 |
| 15.49 | 0.00032208 |
| 15.5  | 0.00032157 |
| 15.51 | 0.00032188 |
| 15.52 | 0.00032193 |
| 15.53 | 0.00032156 |
| 15.54 | 0.00032188 |
| 15.55 | 0.00032218 |
| 15.56 | 0.00032191 |
| 15.57 | 0.00032204 |
| 15.58 | 0.000322   |
| 15.59 | 0.00032198 |
| 15.6  | 0.000322   |
| 15.61 | 0.00032226 |
| 15.62 | 0.00032203 |
| 15.63 | 0.0003221  |
| 15.64 | 0.0003223  |
| 15.65 | 0.00032212 |
| 15.66 | 0.00032233 |
| 15.67 | 0.00032227 |
| 15.68 | 0.00032237 |
| 15.69 | 0.00032234 |
| 15.7  | 0.00032247 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 15.71 | 0.00032286 |
| 15.72 | 0.00032301 |
| 15.73 | 0.00032269 |
| 15.74 | 0.00032299 |
| 15.75 | 0.00032341 |
| 15.76 | 0.00032336 |
| 15.77 | 0.00032342 |
| 15.78 | 0.00032368 |
| 15.79 | 0.0003241  |
| 15.8  | 0.00032362 |
| 15.81 | 0.00032351 |
| 15.82 | 0.00032353 |
| 15.83 | 0.00032327 |
| 15.84 | 0.00032388 |
| 15.85 | 0.00032309 |
| 15.86 | 0.00032354 |
| 15.87 | 0.00032295 |
| 15.88 | 0.000324   |
| 15.89 | 0.000324   |
| 15.9  | 0.00032377 |
| 15.91 | 0.00032369 |
| 15.92 | 0.00032336 |
| 15.93 | 0.00032378 |
| 15.94 | 0.00032377 |
| 15.95 | 0.00032323 |
| 15.96 | 0.00032334 |
| 15.97 | 0.00032323 |
| 15.98 | 0.00032329 |
| 15.99 | 0.00032331 |
| 16    | 0.00032235 |
| 16.01 | 0.00032212 |
| 16.02 | 0.00032189 |
| 16.03 | 0.00032174 |
| 16.04 | 0.00032092 |
| 16.05 | 0.00032059 |
| 16.06 | 0.00032049 |
| 16.07 | 0.00032027 |
| 16.08 | 0.00031947 |
| 16.09 | 0.00031954 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 16.1  | 0.00031967 |
| 16.11 | 0.00031915 |
| 16.12 | 0.00031894 |
| 16.13 | 0.00031875 |
| 16.14 | 0.00031834 |
| 16.15 | 0.00031846 |
| 16.16 | 0.0003182  |
| 16.17 | 0.00031808 |
| 16.18 | 0.00031758 |
| 16.19 | 0.00031771 |
| 16.2  | 0.00031718 |
| 16.21 | 0.00031701 |
| 16.22 | 0.00031655 |
| 16.23 | 0.00031689 |
| 16.24 | 0.00031679 |
| 16.25 | 0.00031616 |
| 16.26 | 0.00031634 |
| 16.27 | 0.00031647 |
| 16.28 | 0.0003158  |
| 16.29 | 0.0003159  |
| 16.3  | 0.0003157  |
| 16.31 | 0.00031605 |
| 16.32 | 0.00031533 |
| 16.33 | 0.00031561 |
| 16.34 | 0.00031554 |
| 16.35 | 0.00031596 |
| 16.36 | 0.00031631 |
| 16.37 | 0.00031689 |
| 16.38 | 0.00031776 |
| 16.39 | 0.00031797 |
| 16.4  | 0.00031826 |
| 16.41 | 0.00031846 |
| 16.42 | 0.00031838 |
| 16.43 | 0.00031849 |
| 16.44 | 0.00031915 |
| 16.45 | 0.00031949 |
| 16.46 | 0.00032104 |
| 16.47 | 0.00032167 |
| 16.48 | 0.00032185 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 16.49 | 0.00032269 |
| 16.5  | 0.00032307 |
| 16.51 | 0.00032366 |
| 16.52 | 0.00032356 |
| 16.53 | 0.00032402 |
| 16.54 | 0.00032417 |
| 16.55 | 0.00032416 |
| 16.56 | 0.00032511 |
| 16.57 | 0.00032562 |
| 16.58 | 0.000326   |
| 16.59 | 0.00032602 |
| 16.6  | 0.00032715 |
| 16.61 | 0.00032706 |
| 16.62 | 0.00032743 |
| 16.63 | 0.00032741 |
| 16.64 | 0.00032721 |
| 16.65 | 0.00032775 |
| 16.66 | 0.00032816 |
| 16.67 | 0.00032803 |
| 16.68 | 0.00032839 |
| 16.69 | 0.00032798 |
| 16.7  | 0.00032787 |
| 16.71 | 0.00032809 |
| 16.72 | 0.00032774 |
| 16.73 | 0.00032762 |
| 16.74 | 0.00032784 |
| 16.75 | 0.00032796 |
| 16.76 | 0.00032783 |
| 16.77 | 0.00032781 |
| 16.78 | 0.00032745 |
| 16.79 | 0.00032704 |
| 16.8  | 0.00032656 |
| 16.81 | 0.00032746 |
| 16.82 | 0.00032686 |
| 16.83 | 0.00032688 |
| 16.84 | 0.00032656 |
| 16.85 | 0.00032622 |
| 16.86 | 0.00032624 |
| 16.87 | 0.00032615 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 16.88 | 0.00032648 |
| 16.89 | 0.00032681 |
| 16.9  | 0.0003266  |
| 16.91 | 0.00032585 |
| 16.92 | 0.00032516 |
| 16.93 | 0.00032488 |
| 16.94 | 0.00032542 |
| 16.95 | 0.00032502 |
| 16.96 | 0.00032505 |
| 16.97 | 0.0003241  |
| 16.98 | 0.00032427 |
| 16.99 | 0.00032401 |
| 17    | 0.00032476 |
| 17.01 | 0.0003247  |
| 17.02 | 0.00032445 |
| 17.03 | 0.0003245  |
| 17.04 | 0.00032454 |
| 17.05 | 0.00032445 |
| 17.06 | 0.00032454 |
| 17.07 | 0.00032457 |
| 17.08 | 0.00032483 |
| 17.09 | 0.00032478 |
| 17.1  | 0.00032512 |
| 17.11 | 0.00032505 |
| 17.12 | 0.00032536 |
| 17.13 | 0.00032534 |
| 17.14 | 0.00032547 |
| 17.15 | 0.00032576 |
| 17.16 | 0.00032622 |
| 17.17 | 0.00032571 |
| 17.18 | 0.00032634 |
| 17.19 | 0.00032667 |
| 17.2  | 0.0003267  |
| 17.21 | 0.00032718 |
| 17.22 | 0.00032699 |
| 17.23 | 0.00032736 |
| 17.24 | 0.00032775 |
| 17.25 | 0.00032787 |
| 17.26 | 0.00032791 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 17.27 | 0.00032834 |
| 17.28 | 0.00032844 |
| 17.29 | 0.00032894 |
| 17.3  | 0.00032915 |
| 17.31 | 0.00032947 |
| 17.32 | 0.00032955 |
| 17.33 | 0.00033048 |
| 17.34 | 0.00033046 |
| 17.35 | 0.00033047 |
| 17.36 | 0.00033071 |
| 17.37 | 0.00033097 |
| 17.38 | 0.00033139 |
| 17.39 | 0.0003314  |
| 17.4  | 0.00033119 |
| 17.41 | 0.00033145 |
| 17.42 | 0.00033133 |
| 17.43 | 0.00033139 |
| 17.44 | 0.00033131 |
| 17.45 | 0.00033099 |
| 17.46 | 0.00033096 |
| 17.47 | 0.0003312  |
| 17.48 | 0.00033114 |
| 17.49 | 0.00033056 |
| 17.5  | 0.0003305  |
| 17.51 | 0.00033039 |
| 17.52 | 0.00032973 |
| 17.53 | 0.00032958 |
| 17.54 | 0.00032936 |
| 17.55 | 0.00032892 |
| 17.56 | 0.00032892 |
| 17.57 | 0.00032854 |
| 17.58 | 0.00032853 |
| 17.59 | 0.000328   |
| 17.6  | 0.0003276  |
| 17.61 | 0.00032727 |
| 17.62 | 0.00032743 |
| 17.63 | 0.00032618 |
| 17.64 | 0.00032615 |
| 17.65 | 0.0003262  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 17.66 | 0.00032556 |
| 17.67 | 0.00032485 |
| 17.68 | 0.00032459 |
| 17.69 | 0.00032435 |
| 17.7  | 0.00032349 |
| 17.71 | 0.00032338 |
| 17.72 | 0.00032321 |
| 17.73 | 0.00032269 |
| 17.74 | 0.00032208 |
| 17.75 | 0.00032181 |
| 17.76 | 0.00032154 |
| 17.77 | 0.00032131 |
| 17.78 | 0.00032065 |
| 17.79 | 0.00032015 |
| 17.8  | 0.00031979 |
| 17.81 | 0.00031959 |
| 17.82 | 0.00031934 |
| 17.83 | 0.00031944 |
| 17.84 | 0.00031935 |
| 17.85 | 0.00031936 |
| 17.86 | 0.00031902 |
| 17.87 | 0.00031891 |
| 17.88 | 0.00031938 |
| 17.89 | 0.00031972 |
| 17.9  | 0.00032055 |
| 17.91 | 0.00032089 |
| 17.92 | 0.00032139 |
| 17.93 | 0.00032191 |
| 17.94 | 0.00032242 |
| 17.95 | 0.00032309 |
| 17.96 | 0.00032327 |
| 17.97 | 0.00032389 |
| 17.98 | 0.00032491 |
| 17.99 | 0.00032487 |
| 18    | 0.0003257  |
| 18.01 | 0.00032627 |
| 18.02 | 0.0003266  |
| 18.03 | 0.0003275  |
| 18.04 | 0.00032815 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 18.05 | 0.00032872 |
| 18.06 | 0.00032968 |
| 18.07 | 0.00032987 |
| 18.08 | 0.00033035 |
| 18.09 | 0.00033116 |
| 18.1  | 0.00033145 |
| 18.11 | 0.00033134 |
| 18.12 | 0.00033257 |
| 18.13 | 0.00033251 |
| 18.14 | 0.0003332  |
| 18.15 | 0.00033335 |
| 18.16 | 0.00033363 |
| 18.17 | 0.00033385 |
| 18.18 | 0.00033459 |
| 18.19 | 0.00033446 |
| 18.2  | 0.00033445 |
| 18.21 | 0.00033438 |
| 18.22 | 0.00033486 |
| 18.23 | 0.00033482 |
| 18.24 | 0.00033459 |
| 18.25 | 0.00033481 |
| 18.26 | 0.00033448 |
| 18.27 | 0.00033416 |
| 18.28 | 0.00033474 |
| 18.29 | 0.00033386 |
| 18.3  | 0.0003337  |
| 18.31 | 0.00033341 |
| 18.32 | 0.00033271 |
| 18.33 | 0.00033304 |
| 18.34 | 0.00033204 |
| 18.35 | 0.00033196 |
| 18.36 | 0.00033175 |
| 18.37 | 0.00033067 |
| 18.38 | 0.00033071 |
| 18.39 | 0.00032995 |
| 18.4  | 0.00032969 |
| 18.41 | 0.0003293  |
| 18.42 | 0.00032886 |
| 18.43 | 0.00032786 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 18.44 | 0.00032772 |
| 18.45 | 0.00032695 |
| 18.46 | 0.00032682 |
| 18.47 | 0.00032634 |
| 18.48 | 0.00032616 |
| 18.49 | 0.00032514 |
| 18.5  | 0.00032452 |
| 18.51 | 0.00032442 |
| 18.52 | 0.00032412 |
| 18.53 | 0.00032407 |
| 18.54 | 0.00032382 |
| 18.55 | 0.00032317 |
| 18.56 | 0.0003232  |
| 18.57 | 0.00032279 |
| 18.58 | 0.00032254 |
| 18.59 | 0.00032223 |
| 18.6  | 0.00032192 |
| 18.61 | 0.00032216 |
| 18.62 | 0.00032177 |
| 18.63 | 0.00032141 |
| 18.64 | 0.00032114 |
| 18.65 | 0.00032102 |
| 18.66 | 0.00032072 |
| 18.67 | 0.00032036 |
| 18.68 | 0.00032034 |
| 18.69 | 0.00032011 |
| 18.7  | 0.00032015 |
| 18.71 | 0.00032011 |
| 18.72 | 0.00031971 |
| 18.73 | 0.00032016 |
| 18.74 | 0.0003202  |
| 18.75 | 0.00032002 |
| 18.76 | 0.00032038 |
| 18.77 | 0.0003204  |
| 18.78 | 0.0003203  |
| 18.79 | 0.00032107 |
| 18.8  | 0.00032014 |
| 18.81 | 0.00032077 |
| 18.82 | 0.00032128 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 18.83 | 0.00032102 |
| 18.84 | 0.00032112 |
| 18.85 | 0.00032207 |
| 18.86 | 0.00032136 |
| 18.87 | 0.00032199 |
| 18.88 | 0.00032185 |
| 18.89 | 0.00032231 |
| 18.9  | 0.00032227 |
| 18.91 | 0.00032257 |
| 18.92 | 0.00032272 |
| 18.93 | 0.00032338 |
| 18.94 | 0.00032373 |
| 18.95 | 0.0003235  |
| 18.96 | 0.00032387 |
| 18.97 | 0.00032358 |
| 18.98 | 0.00032381 |
| 18.99 | 0.00032402 |
| 19    | 0.00032403 |
| 19.01 | 0.00032364 |
| 19.02 | 0.00032428 |
| 19.03 | 0.00032406 |
| 19.04 | 0.00032386 |
| 19.05 | 0.00032394 |
| 19.06 | 0.00032375 |
| 19.07 | 0.00032322 |
| 19.08 | 0.00032355 |
| 19.09 | 0.00032319 |
| 19.1  | 0.00032306 |
| 19.11 | 0.00032303 |
| 19.12 | 0.00032265 |
| 19.13 | 0.0003225  |
| 19.14 | 0.00032205 |
| 19.15 | 0.00032247 |
| 19.16 | 0.0003217  |
| 19.17 | 0.00032217 |
| 19.18 | 0.00032166 |
| 19.19 | 0.00032167 |
| 19.2  | 0.00032162 |
| 19.21 | 0.00032167 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 19.22 | 0.00032099 |
| 19.23 | 0.00032168 |
| 19.24 | 0.00032169 |
| 19.25 | 0.00032113 |
| 19.26 | 0.00032143 |
| 19.27 | 0.00032143 |
| 19.28 | 0.00032091 |
| 19.29 | 0.00032177 |
| 19.3  | 0.00032182 |
| 19.31 | 0.00032143 |
| 19.32 | 0.00032131 |
| 19.33 | 0.00032136 |
| 19.34 | 0.00032168 |
| 19.35 | 0.00032194 |
| 19.36 | 0.00032206 |
| 19.37 | 0.00032206 |
| 19.38 | 0.00032199 |
| 19.39 | 0.00032167 |
| 19.4  | 0.00032267 |
| 19.41 | 0.00032251 |
| 19.42 | 0.00032294 |
| 19.43 | 0.00032266 |
| 19.44 | 0.00032276 |
| 19.45 | 0.00032309 |
| 19.46 | 0.00032306 |
| 19.47 | 0.00032305 |
| 19.48 | 0.00032224 |
| 19.49 | 0.00032287 |
| 19.5  | 0.0003228  |
| 19.51 | 0.00032271 |
| 19.52 | 0.00032253 |
| 19.53 | 0.00032223 |
| 19.54 | 0.00032289 |
| 19.55 | 0.0003231  |
| 19.56 | 0.00032235 |
| 19.57 | 0.0003219  |
| 19.58 | 0.00032215 |
| 19.59 | 0.00032167 |
| 19.6  | 0.00032198 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 19.61 | 0.00032119 |
| 19.62 | 0.00032029 |
| 19.63 | 0.00032027 |
| 19.64 | 0.00032046 |
| 19.65 | 0.00031986 |
| 19.66 | 0.00031941 |
| 19.67 | 0.00031959 |
| 19.68 | 0.00031867 |
| 19.69 | 0.00031859 |
| 19.7  | 0.00031837 |
| 19.71 | 0.00031719 |
| 19.72 | 0.00031768 |
| 19.73 | 0.00031711 |
| 19.74 | 0.0003162  |
| 19.75 | 0.00031657 |
| 19.76 | 0.00031588 |
| 19.77 | 0.0003149  |
| 19.78 | 0.00031426 |
| 19.79 | 0.00031378 |
| 19.8  | 0.00031259 |
| 19.81 | 0.00031264 |
| 19.82 | 0.00031244 |
| 19.83 | 0.00031164 |
| 19.84 | 0.00031112 |
| 19.85 | 0.00031079 |
| 19.86 | 0.00030986 |
| 19.87 | 0.00031029 |
| 19.88 | 0.00030887 |
| 19.89 | 0.00030908 |
| 19.9  | 0.00030941 |
| 19.91 | 0.00030856 |
| 19.92 | 0.00030953 |
| 19.93 | 0.00030863 |
| 19.94 | 0.00030877 |
| 19.95 | 0.0003089  |
| 19.96 | 0.00030955 |
| 19.97 | 0.00030912 |
| 19.98 | 0.00030982 |
| 19.99 | 0.00030947 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 20    | 0.00030992 |
| 20.01 | 0.00030975 |
| 20.02 | 0.00031104 |
| 20.03 | 0.00031104 |
| 20.04 | 0.00031136 |
| 20.05 | 0.00031131 |
| 20.06 | 0.00031125 |
| 20.07 | 0.00031191 |
| 20.08 | 0.00031165 |
| 20.09 | 0.0003121  |
| 20.1  | 0.00031269 |
| 20.11 | 0.00031291 |
| 20.12 | 0.00031254 |
| 20.13 | 0.00031305 |
| 20.14 | 0.00031317 |
| 20.15 | 0.00031325 |
| 20.16 | 0.00031381 |
| 20.17 | 0.00031376 |
| 20.18 | 0.00031357 |
| 20.19 | 0.00031384 |
| 20.2  | 0.00031421 |
| 20.21 | 0.00031374 |
| 20.22 | 0.00031391 |
| 20.23 | 0.00031341 |
| 20.24 | 0.00031364 |
| 20.25 | 0.00031376 |
| 20.26 | 0.000313   |
| 20.27 | 0.00031332 |
| 20.28 | 0.00031289 |
| 20.29 | 0.00031323 |
| 20.3  | 0.00031248 |
| 20.31 | 0.00031287 |
| 20.32 | 0.00031236 |
| 20.33 | 0.00031212 |
| 20.34 | 0.0003116  |
| 20.35 | 0.00031119 |
| 20.36 | 0.00031066 |
| 20.37 | 0.00031029 |
| 20.38 | 0.00030903 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 20.39 | 0.00030908 |
| 20.4  | 0.00030833 |
| 20.41 | 0.00030733 |
| 20.42 | 0.00030594 |
| 20.43 | 0.00030569 |
| 20.44 | 0.00030424 |
| 20.45 | 0.00030418 |
| 20.46 | 0.00030314 |
| 20.47 | 0.00030206 |
| 20.48 | 0.00030181 |
| 20.49 | 0.00030122 |
| 20.5  | 0.00030008 |
| 20.51 | 0.0003001  |
| 20.52 | 0.00029937 |
| 20.53 | 0.00029879 |
| 20.54 | 0.00029864 |
| 20.55 | 0.0002989  |
| 20.56 | 0.00029814 |
| 20.57 | 0.00029867 |
| 20.58 | 0.00029889 |
| 20.59 | 0.00029875 |
| 20.6  | 0.00029943 |
| 20.61 | 0.00029906 |
| 20.62 | 0.00029899 |
| 20.63 | 0.00029974 |
| 20.64 | 0.00029931 |
| 20.65 | 0.00030018 |
| 20.66 | 0.0003007  |
| 20.67 | 0.00030009 |
| 20.68 | 0.00030058 |
| 20.69 | 0.00030064 |
| 20.7  | 0.0003002  |
| 20.71 | 0.00029983 |
| 20.72 | 0.00030018 |
| 20.73 | 0.0003004  |
| 20.74 | 0.0003007  |
| 20.75 | 0.00030024 |
| 20.76 | 0.00029949 |
| 20.77 | 0.00029897 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 20.78 | 0.00029931 |
| 20.79 | 0.00029823 |
| 20.8  | 0.00029736 |
| 20.81 | 0.00029626 |
| 20.82 | 0.00029595 |
| 20.83 | 0.00029618 |
| 20.84 | 0.00029525 |
| 20.85 | 0.00029316 |
| 20.86 | 0.00029315 |
| 20.87 | 0.00029096 |
| 20.88 | 0.00028826 |
| 20.89 | 0.00028625 |
| 20.9  | 0.00028242 |
| 20.91 | 0.00027844 |
| 20.92 | 0.00028174 |
| 20.93 | 0.00028266 |
| 20.94 | 0.00027861 |
| 20.95 | 0.00027999 |
| 20.96 | 0.0002757  |
| 20.97 | 0.00027267 |
| 20.98 | 0.00026893 |
| 20.99 | 0.00026548 |
| 21    | 0.00026349 |
| 21.01 | 0.00026239 |
| 21.02 | 0.00025918 |
| 21.03 | 0.00025581 |
| 21.04 | 0.00025301 |
| 21.05 | 0.00024998 |
| 21.06 | 0.00024544 |
| 21.07 | 0.00024532 |
| 21.08 | 0.00024075 |
| 21.09 | 0.00023789 |
| 21.1  | 0.0002379  |
| 21.11 | 0.00023354 |
| 21.12 | 0.00023128 |
| 21.13 | 0.00023135 |
| 21.14 | 0.00022629 |
| 21.15 | 0.00022514 |
| 21.16 | 0.00022526 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 21.17 | 0.00022228 |
| 21.18 | 0.00022031 |
| 21.19 | 0.00022259 |
| 21.2  | 0.0002201  |
| 21.21 | 0.00022306 |
| 21.22 | 0.00022311 |
| 21.23 | 0.00022276 |
| 21.24 | 0.00022638 |
| 21.25 | 0.00022779 |
| 21.26 | 0.00022719 |
| 21.27 | 0.00023405 |
| 21.28 | 0.00023607 |
| 21.29 | 0.00024    |
| 21.3  | 0.00024695 |
| 21.31 | 0.00024989 |
| 21.32 | 0.00025241 |
| 21.33 | 0.0002599  |
| 21.34 | 0.00026242 |
| 21.35 | 0.00026564 |
| 21.36 | 0.00027084 |
| 21.37 | 0.00027434 |
| 21.38 | 0.00027751 |
| 21.39 | 0.00028339 |
| 21.4  | 0.00028572 |
| 21.41 | 0.00028989 |
| 21.42 | 0.00029291 |
| 21.43 | 0.00029314 |
| 21.44 | 0.00029494 |
| 21.45 | 0.00029595 |
| 21.46 | 0.00029525 |
| 21.47 | 0.00029573 |
| 21.48 | 0.0002959  |
| 21.49 | 0.00029586 |
| 21.5  | 0.00029646 |
| 21.51 | 0.00029618 |
| 21.52 | 0.00029523 |
| 21.53 | 0.00029522 |
| 21.54 | 0.00029535 |
| 21.55 | 0.00029482 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 21.56 | 0.00029408 |
| 21.57 | 0.00029296 |
| 21.58 | 0.00029254 |
| 21.59 | 0.0002912  |
| 21.6  | 0.00029143 |
| 21.61 | 0.00029109 |
| 21.62 | 0.00028971 |
| 21.63 | 0.00028721 |
| 21.64 | 0.00028352 |
| 21.65 | 0.00028223 |
| 21.66 | 0.00027863 |
| 21.67 | 0.0002759  |
| 21.68 | 0.00027284 |
| 21.69 | 0.00026838 |
| 21.7  | 0.0002623  |
| 21.71 | 0.00025937 |
| 21.72 | 0.00025284 |
| 21.73 | 0.00024631 |
| 21.74 | 0.00024336 |
| 21.75 | 0.00023865 |
| 21.76 | 0.00023238 |
| 21.77 | 0.00023001 |
| 21.78 | 0.00022344 |
| 21.79 | 0.00021609 |
| 21.8  | 0.00021257 |
| 21.81 | 0.00020397 |
| 21.82 | 0.00020011 |
| 21.83 | 0.00019376 |
| 21.84 | 0.00018924 |
| 21.85 | 0.00018634 |
| 21.86 | 0.00018164 |
| 21.87 | 0.00017696 |
| 21.88 | 0.00017312 |
| 21.89 | 0.00016923 |
| 21.9  | 0.00016778 |
| 21.91 | 0.00016497 |
| 21.92 | 0.00016353 |
| 21.93 | 0.00016152 |
| 21.94 | 0.00016004 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 21.95 | 0.00015976 |
| 21.96 | 0.00015734 |
| 21.97 | 0.00015664 |
| 21.98 | 0.00015597 |
| 21.99 | 0.00015495 |
| 22    | 0.00015579 |
| 22.01 | 0.00015703 |
| 22.02 | 0.00015458 |
| 22.03 | 0.00015631 |
| 22.04 | 0.00015575 |
| 22.05 | 0.00015384 |
| 22.06 | 0.00015581 |
| 22.07 | 0.00015667 |
| 22.08 | 0.00015616 |
| 22.09 | 0.00015772 |
| 22.1  | 0.00015851 |
| 22.11 | 0.0001589  |
| 22.12 | 0.00016265 |
| 22.13 | 0.00016318 |
| 22.14 | 0.00016234 |
| 22.15 | 0.00016431 |
| 22.16 | 0.00016499 |
| 22.17 | 0.00016753 |
| 22.18 | 0.00016934 |
| 22.19 | 0.00017081 |
| 22.2  | 0.00017118 |
| 22.21 | 0.00017078 |
| 22.22 | 0.00017352 |
| 22.23 | 0.00017268 |
| 22.24 | 0.00017047 |
| 22.25 | 0.00017242 |
| 22.26 | 0.00017099 |
| 22.27 | 0.00017158 |
| 22.28 | 0.00017043 |
| 22.29 | 0.0001674  |
| 22.3  | 0.00016645 |
| 22.31 | 0.00016441 |
| 22.32 | 0.00016075 |
| 22.33 | 0.00015888 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 22.34 | 0.00015655 |
| 22.35 | 0.00015463 |
| 22.36 | 0.00015321 |
| 22.37 | 0.00015139 |
| 22.38 | 0.00014956 |
| 22.39 | 0.00014509 |
| 22.4  | 0.00014328 |
| 22.41 | 0.00014014 |
| 22.42 | 0.00013643 |
| 22.43 | 0.00013541 |
| 22.44 | 0.00013411 |
| 22.45 | 0.00013355 |
| 22.46 | 0.000132   |
| 22.47 | 0.00013128 |
| 22.48 | 0.00012959 |
| 22.49 | 0.00012839 |
| 22.5  | 0.00012789 |
| 22.51 | 0.00012738 |
| 22.52 | 0.00012563 |
| 22.53 | 0.00012584 |
| 22.54 | 0.00012659 |
| 22.55 | 0.00012651 |
| 22.56 | 0.00012624 |
| 22.57 | 0.00012507 |
| 22.58 | 0.00012496 |
| 22.59 | 0.00012421 |
| 22.6  | 0.00012418 |
| 22.61 | 0.00012329 |
| 22.62 | 0.00012348 |
| 22.63 | 0.00012265 |
| 22.64 | 0.0001218  |
| 22.65 | 0.00012111 |
| 22.66 | 0.00011858 |
| 22.67 | 0.00011823 |
| 22.68 | 0.00011769 |
| 22.69 | 0.00011628 |
| 22.7  | 0.00011591 |
| 22.71 | 0.00011489 |
| 22.72 | 0.00011228 |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 22.73 | 0.00011215 |
| 22.74 | 0.0001113  |
| 22.75 | 0.00010951 |
| 22.76 | 0.00010835 |
| 22.77 | 0.00010835 |
| 22.78 | 0.00010675 |
| 22.79 | 0.00010564 |
| 22.8  | 0.00010564 |
| 22.81 | 0.00010525 |
| 22.82 | 0.00010543 |
| 22.83 | 0.00010449 |
| 22.84 | 0.00010463 |
| 22.85 | 0.00010447 |
| 22.86 | 0.00010401 |
| 22.87 | 0.00010316 |
| 22.88 | 0.00010369 |
| 22.89 | 0.00010396 |
| 22.9  | 0.00010287 |
| 22.91 | 0.00010301 |
| 22.92 | 0.00010355 |
| 22.93 | 0.0001024  |
| 22.94 | 0.00010316 |
| 22.95 | 0.00010257 |
| 22.96 | 0.00010203 |
| 22.97 | 0.00010245 |
| 22.98 | 0.0001022  |
| 22.99 | 0.00010161 |
| 23    | 0.00010174 |
| 23.01 | 0.00010063 |
| 23.02 | 0.00010075 |
| 23.03 | 0.00010014 |
| 23.04 | 9.8814E-05 |
| 23.05 | 9.8151E-05 |
| 23.06 | 9.8265E-05 |
| 23.07 | 9.7671E-05 |
| 23.08 | 9.7126E-05 |
| 23.09 | 9.7125E-05 |
| 23.1  | 9.6206E-05 |
| 23.11 | 9.4656E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 23.12 | 9.449E-05  |
| 23.13 | 9.3611E-05 |
| 23.14 | 9.2143E-05 |
| 23.15 | 9.2531E-05 |
| 23.16 | 9.1207E-05 |
| 23.17 | 9.051E-05  |
| 23.18 | 8.9927E-05 |
| 23.19 | 8.8568E-05 |
| 23.2  | 8.8597E-05 |
| 23.21 | 8.735E-05  |
| 23.22 | 8.5358E-05 |
| 23.23 | 8.4768E-05 |
| 23.24 | 8.3575E-05 |
| 23.25 | 8.2237E-05 |
| 23.26 | 8.1911E-05 |
| 23.27 | 8.0123E-05 |
| 23.28 | 7.9572E-05 |
| 23.29 | 7.8923E-05 |
| 23.3  | 7.8056E-05 |
| 23.31 | 7.6682E-05 |
| 23.32 | 7.5986E-05 |
| 23.33 | 7.6275E-05 |
| 23.34 | 7.544E-05  |
| 23.35 | 7.59E-05   |
| 23.36 | 7.5357E-05 |
| 23.37 | 7.5228E-05 |
| 23.38 | 7.5531E-05 |
| 23.39 | 7.5928E-05 |
| 23.4  | 7.6212E-05 |
| 23.41 | 7.6631E-05 |
| 23.42 | 7.6511E-05 |
| 23.43 | 7.7899E-05 |
| 23.44 | 7.8548E-05 |
| 23.45 | 7.8536E-05 |
| 23.46 | 7.92E-05   |
| 23.47 | 8.017E-05  |
| 23.48 | 8.0178E-05 |
| 23.49 | 8.1685E-05 |
| 23.5  | 8.2013E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 23.51 | 8.2305E-05 |
| 23.52 | 8.3725E-05 |
| 23.53 | 8.4604E-05 |
| 23.54 | 8.4368E-05 |
| 23.55 | 8.4746E-05 |
| 23.56 | 8.6057E-05 |
| 23.57 | 8.4694E-05 |
| 23.58 | 8.488E-05  |
| 23.59 | 8.6033E-05 |
| 23.6  | 8.6412E-05 |
| 23.61 | 8.7032E-05 |
| 23.62 | 8.8616E-05 |
| 23.63 | 8.7571E-05 |
| 23.64 | 8.7366E-05 |
| 23.65 | 8.7596E-05 |
| 23.66 | 8.7604E-05 |
| 23.67 | 8.7847E-05 |
| 23.68 | 8.8421E-05 |
| 23.69 | 8.7836E-05 |
| 23.7  | 8.7643E-05 |
| 23.71 | 8.893E-05  |
| 23.72 | 8.7885E-05 |
| 23.73 | 8.763E-05  |
| 23.74 | 8.6997E-05 |
| 23.75 | 8.5656E-05 |
| 23.76 | 8.6951E-05 |
| 23.77 | 8.603E-05  |
| 23.78 | 8.5457E-05 |
| 23.79 | 8.5127E-05 |
| 23.8  | 8.4154E-05 |
| 23.81 | 8.3612E-05 |
| 23.82 | 8.3279E-05 |
| 23.83 | 8.2434E-05 |
| 23.84 | 8.1994E-05 |
| 23.85 | 8.1573E-05 |
| 23.86 | 8.114E-05  |
| 23.87 | 8.0627E-05 |
| 23.88 | 8.081E-05  |
| 23.89 | 7.9649E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 23.9  | 7.9175E-05 |
| 23.91 | 7.9785E-05 |
| 23.92 | 7.8907E-05 |
| 23.93 | 7.8256E-05 |
| 23.94 | 7.9099E-05 |
| 23.95 | 7.8832E-05 |
| 23.96 | 7.8769E-05 |
| 23.97 | 7.9319E-05 |
| 23.98 | 7.9472E-05 |
| 23.99 | 7.9967E-05 |
| 24    | 8.0892E-05 |
| 24.01 | 8.0766E-05 |
| 24.02 | 8.1007E-05 |
| 24.03 | 8.1703E-05 |
| 24.04 | 8.1916E-05 |
| 24.05 | 8.3314E-05 |
| 24.06 | 8.323E-05  |
| 24.07 | 8.3435E-05 |
| 24.08 | 8.3795E-05 |
| 24.09 | 8.4053E-05 |
| 24.1  | 8.4814E-05 |
| 24.11 | 8.4684E-05 |
| 24.12 | 8.5748E-05 |
| 24.13 | 8.5098E-05 |
| 24.14 | 8.566E-05  |
| 24.15 | 8.5623E-05 |
| 24.16 | 8.4889E-05 |
| 24.17 | 8.4641E-05 |
| 24.18 | 8.4774E-05 |
| 24.19 | 8.402E-05  |
| 24.2  | 8.3763E-05 |
| 24.21 | 8.3977E-05 |
| 24.22 | 8.2829E-05 |
| 24.23 | 8.2767E-05 |
| 24.24 | 8.1369E-05 |
| 24.25 | 7.9839E-05 |
| 24.26 | 7.8955E-05 |
| 24.27 | 7.7507E-05 |
| 24.28 | 7.6736E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 24.29 | 7.5964E-05 |
| 24.3  | 7.4704E-05 |
| 24.31 | 7.3595E-05 |
| 24.32 | 7.2737E-05 |
| 24.33 | 7.0881E-05 |
| 24.34 | 7.0165E-05 |
| 24.35 | 6.9369E-05 |
| 24.36 | 6.8494E-05 |
| 24.37 | 6.7452E-05 |
| 24.38 | 6.6537E-05 |
| 24.39 | 6.5693E-05 |
| 24.4  | 6.5043E-05 |
| 24.41 | 6.4351E-05 |
| 24.42 | 6.3772E-05 |
| 24.43 | 6.3175E-05 |
| 24.44 | 6.3104E-05 |
| 24.45 | 6.2345E-05 |
| 24.46 | 6.1965E-05 |
| 24.47 | 6.1194E-05 |
| 24.48 | 6.0665E-05 |
| 24.49 | 6.045E-05  |
| 24.5  | 6.0326E-05 |
| 24.51 | 5.9807E-05 |
| 24.52 | 5.9581E-05 |
| 24.53 | 5.8959E-05 |
| 24.54 | 5.875E-05  |
| 24.55 | 5.8642E-05 |
| 24.56 | 5.8235E-05 |
| 24.57 | 5.7798E-05 |
| 24.58 | 5.7746E-05 |
| 24.59 | 5.7717E-05 |
| 24.6  | 5.7306E-05 |
| 24.61 | 5.7426E-05 |
| 24.62 | 5.7366E-05 |
| 24.63 | 5.7094E-05 |
| 24.64 | 5.7211E-05 |
| 24.65 | 5.6929E-05 |
| 24.66 | 5.6504E-05 |
| 24.67 | 5.6677E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 24.68 | 5.653E-05  |
| 24.69 | 5.6583E-05 |
| 24.7  | 5.6401E-05 |
| 24.71 | 5.6378E-05 |
| 24.72 | 5.6233E-05 |
| 24.73 | 5.639E-05  |
| 24.74 | 5.6272E-05 |
| 24.75 | 5.6509E-05 |
| 24.76 | 5.6687E-05 |
| 24.77 | 5.6691E-05 |
| 24.78 | 5.654E-05  |
| 24.79 | 5.6737E-05 |
| 24.8  | 5.667E-05  |
| 24.81 | 5.6689E-05 |
| 24.82 | 5.6914E-05 |
| 24.83 | 5.7238E-05 |
| 24.84 | 5.714E-05  |
| 24.85 | 5.7543E-05 |
| 24.86 | 5.7509E-05 |
| 24.87 | 5.7806E-05 |
| 24.88 | 5.8273E-05 |
| 24.89 | 5.8369E-05 |
| 24.9  | 5.8572E-05 |
| 24.91 | 5.9075E-05 |
| 24.92 | 5.9122E-05 |
| 24.93 | 5.9384E-05 |
| 24.94 | 5.9784E-05 |
| 24.95 | 5.9919E-05 |
| 24.96 | 6.0528E-05 |
| 24.97 | 6.1005E-05 |
| 24.98 | 6.1409E-05 |
| 24.99 | 6.2268E-05 |
| 25    | 6.2681E-05 |
| 25.01 | 6.2961E-05 |
| 25.02 | 6.357E-05  |
| 25.03 | 6.3982E-05 |
| 25.04 | 6.4152E-05 |
| 25.05 | 6.4424E-05 |
| 25.06 | 6.4982E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 25.07 | 6.5291E-05 |
| 25.08 | 6.5781E-05 |
| 25.09 | 6.5987E-05 |
| 25.1  | 6.6107E-05 |
| 25.11 | 6.6298E-05 |
| 25.12 | 6.6469E-05 |
| 25.13 | 6.6143E-05 |
| 25.14 | 6.6209E-05 |
| 25.15 | 6.5965E-05 |
| 25.16 | 6.5746E-05 |
| 25.17 | 6.5756E-05 |
| 25.18 | 6.5676E-05 |
| 25.19 | 6.5596E-05 |
| 25.2  | 6.5647E-05 |
| 25.21 | 6.5336E-05 |
| 25.22 | 6.5295E-05 |
| 25.23 | 6.5285E-05 |
| 25.24 | 6.5072E-05 |
| 25.25 | 6.4989E-05 |
| 25.26 | 6.5089E-05 |
| 25.27 | 6.5003E-05 |
| 25.28 | 6.5114E-05 |
| 25.29 | 6.5711E-05 |
| 25.3  | 6.5431E-05 |
| 25.31 | 6.5363E-05 |
| 25.32 | 6.5727E-05 |
| 25.33 | 6.59E-05   |
| 25.34 | 6.6295E-05 |
| 25.35 | 6.6389E-05 |
| 25.36 | 6.6424E-05 |
| 25.37 | 6.7141E-05 |
| 25.38 | 6.7124E-05 |
| 25.39 | 6.7102E-05 |
| 25.4  | 6.7285E-05 |
| 25.41 | 6.7335E-05 |
| 25.42 | 6.7484E-05 |
| 25.43 | 6.7451E-05 |
| 25.44 | 6.7506E-05 |
| 25.45 | 6.7144E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 25.46 | 6.6851E-05 |
| 25.47 | 6.6785E-05 |
| 25.48 | 6.6254E-05 |
| 25.49 | 6.5899E-05 |
| 25.5  | 6.5283E-05 |
| 25.51 | 6.48E-05   |
| 25.52 | 6.4377E-05 |
| 25.53 | 6.3701E-05 |
| 25.54 | 6.2947E-05 |
| 25.55 | 6.262E-05  |
| 25.56 | 6.1331E-05 |
| 25.57 | 6.1E-05    |
| 25.58 | 6.0397E-05 |
| 25.59 | 5.9313E-05 |
| 25.6  | 5.8968E-05 |
| 25.61 | 5.8327E-05 |
| 25.62 | 5.7424E-05 |
| 25.63 | 5.6757E-05 |
| 25.64 | 5.6278E-05 |
| 25.65 | 5.5399E-05 |
| 25.66 | 5.4986E-05 |
| 25.67 | 5.4428E-05 |
| 25.68 | 5.3472E-05 |
| 25.69 | 5.2918E-05 |
| 25.7  | 5.2369E-05 |
| 25.71 | 5.1801E-05 |
| 25.72 | 5.1224E-05 |
| 25.73 | 5.0731E-05 |
| 25.74 | 4.9887E-05 |
| 25.75 | 4.9495E-05 |
| 25.76 | 4.8813E-05 |
| 25.77 | 4.8361E-05 |
| 25.78 | 4.8011E-05 |
| 25.79 | 4.7539E-05 |
| 25.8  | 4.7183E-05 |
| 25.81 | 4.6797E-05 |
| 25.82 | 4.6519E-05 |
| 25.83 | 4.587E-05  |
| 25.84 | 4.576E-05  |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 25.85 | 4.5557E-05 |
| 25.86 | 4.5029E-05 |
| 25.87 | 4.4909E-05 |
| 25.88 | 4.4854E-05 |
| 25.89 | 4.4489E-05 |
| 25.9  | 4.4614E-05 |
| 25.91 | 4.442E-05  |
| 25.92 | 4.4032E-05 |
| 25.93 | 4.3859E-05 |
| 25.94 | 4.3655E-05 |
| 25.95 | 4.3506E-05 |
| 25.96 | 4.344E-05  |
| 25.97 | 4.3368E-05 |
| 25.98 | 4.328E-05  |
| 25.99 | 4.3563E-05 |
| 26    | 4.3502E-05 |
| 26.01 | 4.3372E-05 |
| 26.02 | 4.3683E-05 |
| 26.03 | 4.3691E-05 |
| 26.04 | 4.3877E-05 |
| 26.05 | 4.4241E-05 |
| 26.06 | 4.4501E-05 |
| 26.07 | 4.4588E-05 |
| 26.08 | 4.5112E-05 |
| 26.09 | 4.5215E-05 |
| 26.1  | 4.5475E-05 |
| 26.11 | 4.5871E-05 |
| 26.12 | 4.5943E-05 |
| 26.13 | 4.6137E-05 |
| 26.14 | 4.661E-05  |
| 26.15 | 4.6676E-05 |
| 26.16 | 4.7235E-05 |
| 26.17 | 4.7389E-05 |
| 26.18 | 4.7235E-05 |
| 26.19 | 4.7467E-05 |
| 26.2  | 4.7575E-05 |
| 26.21 | 4.7436E-05 |
| 26.22 | 4.7257E-05 |
| 26.23 | 4.7408E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 26.24 | 4.7211E-05 |
| 26.25 | 4.7134E-05 |
| 26.26 | 4.6937E-05 |
| 26.27 | 4.6508E-05 |
| 26.28 | 4.6336E-05 |
| 26.29 | 4.6207E-05 |
| 26.3  | 4.5717E-05 |
| 26.31 | 4.5716E-05 |
| 26.32 | 4.5266E-05 |
| 26.33 | 4.5014E-05 |
| 26.34 | 4.4828E-05 |
| 26.35 | 4.4497E-05 |
| 26.36 | 4.4346E-05 |
| 26.37 | 4.4411E-05 |
| 26.38 | 4.4078E-05 |
| 26.39 | 4.3821E-05 |
| 26.4  | 4.3598E-05 |
| 26.41 | 4.3456E-05 |
| 26.42 | 4.3412E-05 |
| 26.43 | 4.358E-05  |
| 26.44 | 4.3363E-05 |
| 26.45 | 4.3202E-05 |
| 26.46 | 4.3257E-05 |
| 26.47 | 4.3152E-05 |
| 26.48 | 4.3134E-05 |
| 26.49 | 4.3325E-05 |
| 26.5  | 4.3351E-05 |
| 26.51 | 4.3306E-05 |
| 26.52 | 4.347E-05  |
| 26.53 | 4.3376E-05 |
| 26.54 | 4.346E-05  |
| 26.55 | 4.3821E-05 |
| 26.56 | 4.3768E-05 |
| 26.57 | 4.3808E-05 |
| 26.58 | 4.3938E-05 |
| 26.59 | 4.3843E-05 |
| 26.6  | 4.385E-05  |
| 26.61 | 4.3945E-05 |
| 26.62 | 4.4085E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 26.63 | 4.417E-05  |
| 26.64 | 4.422E-05  |
| 26.65 | 4.4246E-05 |
| 26.66 | 4.4384E-05 |
| 26.67 | 4.4506E-05 |
| 26.68 | 4.4405E-05 |
| 26.69 | 4.4413E-05 |
| 26.7  | 4.4056E-05 |
| 26.71 | 4.4189E-05 |
| 26.72 | 4.4378E-05 |
| 26.73 | 4.4195E-05 |
| 26.74 | 4.4041E-05 |
| 26.75 | 4.4121E-05 |
| 26.76 | 4.4061E-05 |
| 26.77 | 4.3829E-05 |
| 26.78 | 4.3758E-05 |
| 26.79 | 4.3702E-05 |
| 26.8  | 4.3393E-05 |
| 26.81 | 4.3528E-05 |
| 26.82 | 4.3408E-05 |
| 26.83 | 4.3377E-05 |
| 26.84 | 4.3374E-05 |
| 26.85 | 4.3231E-05 |
| 26.86 | 4.3117E-05 |
| 26.87 | 4.3101E-05 |
| 26.88 | 4.2966E-05 |
| 26.89 | 4.285E-05  |
| 26.9  | 4.2983E-05 |
| 26.91 | 4.2821E-05 |
| 26.92 | 4.274E-05  |
| 26.93 | 4.2729E-05 |
| 26.94 | 4.2507E-05 |
| 26.95 | 4.2332E-05 |
| 26.96 | 4.221E-05  |
| 26.97 | 4.1941E-05 |
| 26.98 | 4.1811E-05 |
| 26.99 | 4.1822E-05 |
| 27    | 4.1519E-05 |
| 27.01 | 4.1544E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 27.02 | 4.1345E-05 |
| 27.03 | 4.0963E-05 |
| 27.04 | 4.0801E-05 |
| 27.05 | 4.0519E-05 |
| 27.06 | 4.0091E-05 |
| 27.07 | 3.9997E-05 |
| 27.08 | 3.9703E-05 |
| 27.09 | 3.9368E-05 |
| 27.1  | 3.9231E-05 |
| 27.11 | 3.9048E-05 |
| 27.12 | 3.8716E-05 |
| 27.13 | 3.8626E-05 |
| 27.14 | 3.8382E-05 |
| 27.15 | 3.8035E-05 |
| 27.16 | 3.7958E-05 |
| 27.17 | 3.7843E-05 |
| 27.18 | 3.7713E-05 |
| 27.19 | 3.7782E-05 |
| 27.2  | 3.7637E-05 |
| 27.21 | 3.7517E-05 |
| 27.22 | 3.7668E-05 |
| 27.23 | 3.7572E-05 |
| 27.24 | 3.7633E-05 |
| 27.25 | 3.78E-05   |
| 27.26 | 3.7915E-05 |
| 27.27 | 3.8162E-05 |
| 27.28 | 3.8532E-05 |
| 27.29 | 3.8572E-05 |
| 27.3  | 3.8991E-05 |
| 27.31 | 3.9276E-05 |
| 27.32 | 3.9454E-05 |
| 27.33 | 3.972E-05  |
| 27.34 | 4.0054E-05 |
| 27.35 | 4.0365E-05 |
| 27.36 | 4.069E-05  |
| 27.37 | 4.1069E-05 |
| 27.38 | 4.1079E-05 |
| 27.39 | 4.1385E-05 |
| 27.4  | 4.164E-05  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 27.41 | 4.1731E-05 |
| 27.42 | 4.2041E-05 |
| 27.43 | 4.2154E-05 |
| 27.44 | 4.2132E-05 |
| 27.45 | 4.2378E-05 |
| 27.46 | 4.2547E-05 |
| 27.47 | 4.2388E-05 |
| 27.48 | 4.2641E-05 |
| 27.49 | 4.2556E-05 |
| 27.5  | 4.2358E-05 |
| 27.51 | 4.2511E-05 |
| 27.52 | 4.2521E-05 |
| 27.53 | 4.2383E-05 |
| 27.54 | 4.254E-05  |
| 27.55 | 4.2509E-05 |
| 27.56 | 4.2156E-05 |
| 27.57 | 4.2199E-05 |
| 27.58 | 4.2076E-05 |
| 27.59 | 4.1921E-05 |
| 27.6  | 4.1899E-05 |
| 27.61 | 4.1771E-05 |
| 27.62 | 4.1713E-05 |
| 27.63 | 4.1613E-05 |
| 27.64 | 4.1503E-05 |
| 27.65 | 4.1448E-05 |
| 27.66 | 4.1394E-05 |
| 27.67 | 4.1282E-05 |
| 27.68 | 4.1059E-05 |
| 27.69 | 4.1092E-05 |
| 27.7  | 4.0851E-05 |
| 27.71 | 4.0789E-05 |
| 27.72 | 4.0843E-05 |
| 27.73 | 4.061E-05  |
| 27.74 | 4.0562E-05 |
| 27.75 | 4.0569E-05 |
| 27.76 | 4.0364E-05 |
| 27.77 | 4.0256E-05 |
| 27.78 | 4.0338E-05 |
| 27.79 | 4.0278E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|       |            |
|-------|------------|
| 27.8  | 4.0353E-05 |
| 27.81 | 4.0454E-05 |
| 27.82 | 4.0386E-05 |
| 27.83 | 4.0486E-05 |
| 27.84 | 4.0519E-05 |
| 27.85 | 4.0415E-05 |
| 27.86 | 4.0436E-05 |
| 27.87 | 4.0466E-05 |
| 27.88 | 4.0442E-05 |
| 27.89 | 4.0449E-05 |
| 27.9  | 4.0452E-05 |
| 27.91 | 4.0263E-05 |
| 27.92 | 4.0133E-05 |
| 27.93 | 4.0043E-05 |
| 27.94 | 3.9837E-05 |
| 27.95 | 3.9912E-05 |
| 27.96 | 3.9768E-05 |
| 27.97 | 3.9523E-05 |
| 27.98 | 3.9386E-05 |
| 27.99 | 3.9228E-05 |
| 28    | 3.8989E-05 |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 2. Cálculos

Cálculos para determinar el radio en el plano  $z = 119$  en el láser de helio y neón:

$$\begin{aligned}\sum I &= 4 * 10^{-4} \\ \sum X * I &= 4,41 * 10^{-3} \\ x_{media} &= 10,7415 \\ \sum X(x - x_{media})^2 * I &= 6.05 * 10^{-4} \\ \sigma &= \frac{6.05 * 10^{-4}}{4 * 10^{-4}} = 1,47 \\ D4\sigma &= 4.8552 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cálculos para determinar el radio en el plano  $z = 140$  en el láser de semiconductor

$$\begin{aligned}\sum I &= 0,0508 \\ \sum X * I &= 0,4824 \\ x_{media} &= 9,4914 \\ \sum X(x - x_{media})^2 * I &= 0,2529 \\ \sigma &= \frac{0.2529}{0.0508} = 4,9775 \\ D4\sigma &= 8,9241 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cálculos para determinar el radio en el plano  $z = 190$  en el láser de semiconductor

$$\begin{aligned}\sum I &= 0,0045 \\ \sum X * I &= 0,0137 \\ x_{media} &= 2,9867\end{aligned}$$



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

$$\sum X(x - x_{media})^2 * I = 0,0007$$

$$\sigma = \frac{0,0007}{0,0045} = 0,1635$$

$$D4\sigma = 1,6164 \text{ mm}$$

Cálculos para determinar el radio en el plano  $z = 90$  el láser de semiconductor

$$\sum I = 0,3503$$

$$\sum X * I = 6,1443$$

$$x_{media} = 17,53$$

$$\sum X(x - x_{media})^2 * I = 6,0607$$

$$\sigma = \frac{0.2529}{0.0508} = 17,3006$$

$$D4\sigma = 16,6376 \text{ mm}$$





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 3. Fichas Técnicas



| Item #                                    | PM200  |
|---|--|
| Detector Compatibility                    | Photodiode Sensors S100C Series<br>Thermal Sensors S300C Series<br>Pyroelectric Sensors ES100C/ES200C Series<br>Photodiode Sensors: 5 mA (Max)<br>Thermopile Sensors: 1 V (Max)<br>Pyroelectric Sensors: 100 V (Max) |
| Display Type                              | 5.7" TFT, 640 x 480 Pixels, 18 bit Color   |
| Viewing Area                              | 118 mm x 88 mm   |
| Display Update Rate                       | Max 15 Hz  |
| Display Format                            | Numerical, Bargraph, Trendgraph, Statistics, Simulated Analog Needle   |
| Backlight Display                         | LED, Adjustable  |
| Overall Dimensions (H x W x D)            | 170 mm x 125 mm x 38 mm  |
| Features                                  | Rotatable Two Position Kickstand, Removable Rubberboot, Touch-Pen, Fixture for Optional Fiber Inspection Camera  |
| Weight                                    | 0.57 kg  |
| Operating Temperature                     | 0 °C to 40 °C  |
| Storage Temperature                       | -40 °C to 70 °C  |
| <b>Current Input (Photodiode Sensors)</b> |  |
| Connector                                 | DB9F, Left Side  |
| Units                                     | W, dBm, W/cm <sup>2</sup> , A  |
| Measurement Ranges                        | 6 Decades; 50 nA - 5 mA<br>Ranges Selectable in W, Sensor Dependent  |
| Display Resolution                        | 1 pA / Responsivity Value (A/W)  |
| AD Converter                              | 16 bit   |
| Accuracy                                  | ±0.2% full scale (5 µA - 5 mA)<br>±0.5% full scale (50 nA)   |
| Bandwidth                                 | DC - 100 kHz, Dependent on Sensor and Settings   |
| Beam Area Setting                         | Diameter 1/e <sup>2</sup> or Rectangular x,y   |
| <b>Voltage Input (Thermopile Sensors)</b> |  |
| Connector                                 | DB9F, Left Side  |
| Units                                     | W, dBm, W/cm <sup>2</sup> , V  |
| Measurement Ranges                        | 4 Decades; 1 mV - 1 V<br>Ranges Selectable in W, Sensor Dependent  |
| Display Resolution                        | 1 µV / Responsivity Value (V/W)  |
| AD Converter                              | 16 bit   |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

| Item #                              | PM200   |
|-------------------------------------|---|
| Accuracy                            | $\pm 0.5\%$ f.s. (10 mV - 1 V)<br>$\pm 1\%$ f.s. (1mV)                            |
| Bandwidth                           | DC - 10 Hz, Dependent on Sensor and Settings                                      |
| Time Constant Correction Range      | 1 - 30 s  |
| Wavelength Correction               | Sensor Dependent  |
| Beam Area Setting                   | Diameter 1/e <sup>2</sup> or Rectangular x,y                                      |
| <b>Voltage Input (Pyro Sensors)</b> |   |
| Connector                           | DB9F, Left Side   |
| Units                               | J, J/cm <sup>2</sup> , W, W/cm <sup>2</sup> , V                                   |
| Measurement Ranges                  | 4 Decades; 200 mV - 2V - 20 V - 100 V<br>Ranges Selectable in J, Sensor Dependent |
| Display Resolution                  | 100 $\mu$ V / Responsivity Value (V/J)  |
| AD Converter                        | 16 bit  |
| Accuracy                            | $\pm 0.5\%$ full scale  |
| Trigger Theshold                    | 0.1% - 99.9% full scale   |
| Max Repetition Rate                 | 3 kHz   |
| Wavelength Correction               | Sensor Dependent  |
| Beam Area Setting                   | Diameter 1/e <sup>2</sup> or Rectangular x,y                                      |
| <b>Analog Output</b>                |   |
| Connector                           | Audio 3.5 mm, Left Side   |
| Signal                              | Amplified Input Signal - Not Corrected  |
| Voltage Range                       | 0 to 2 V  |
| Accuracy                            | $\pm 3\%$   |
| Bandwidth                           | Up to 100 kHz, Dependent on Sensor and Settings                                   |
| <b>Auxiliary In-/Output</b>         |   |
| Connector                           | 2 x 6 Pins, 0.1" Socket, Top Side   |
| Function                            | External Trigger Input<br>4 x GPIO<br>2 x 10 bit ADC                              |
| <b>Sensor Temperature Control</b>   |   |
| Supported Temperature Sensor        | Thermistor  |
| Temperature Measurement Range       | -10 °C to +80 °C  |
| <b>Sound</b>                        |   |
| Type                                | Speaker 300 Hz - 5 kHz  |
| Function                            | Laser Tuning Support, Console Function Support                                    |
| <b>Memory</b>                       |   |
| Type                                | Nand Flash  |
| Size                                | 128 MB  |
| <b>Interfaces</b>                   |   |
| Type                                | USB2.0  |
| Connector (Host)                    | Mini USB, Top Side  |
| Connector (Device)                  | USB Type A, Left Side   |
| <b>Power Management</b>             |   |
| Battery                             | LiPo 3.7 V 2600 mAh   |
| Charger / DC Input                  | 5 V / 2 A   |



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



Fecha: 10-09-2018

Página: 107

Código: 1894

## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

| Item #                      | PM200  |
|-----------------------------|--|
| Power Connector             | Center Hole  |
| <b>Included Accessories</b> |  |
| Hardcase                    | For Console and Sensor(s)                              |
| External Power Supply       | 5 VDC / 2.4 A with Power Cord                          |
| USB Cable                   | USB Type A Connector to Mini USB Connector (2 m)       |
| Cable for Analog Output     | 3.5 mm Audio Connector to Flying Leads (2 m)           |
| External Memory             | USB Flash Drive 2 GB                                   |
| Instrument Drivers          | on USB Flash Drive                                     |
| Application Software        | on USB Flash Drive                                     |
| User Manual                 | Quick Reference as Hardcopy, Manual on USB Flash Drive |

| Item # <sup>a</sup>                          | S120VC  |
|--|---|
| Sensor Image<br>(Click the Image to Enlarge) |                              |
| Aperture Size                                | Ø9.5 mm   |
| Wavelength Range                             | 200 - 1100 nm   |
| Power Range                                  | 50 nW - 50 mW   |
| Detector Type                                | Si Photodiode (UV Extended)   |
| Linearity                                    | ±0.5%   |
| Resolution <sup>b</sup>                      | 1 nW  |
| Measurement Uncertainty <sup>c</sup>         | ±3% (440 - 980 nm)<br>±5% (280 - 439 nm)<br>±7% (200 - 279 nm, 981 - 1100 nm)                                   |
| Responsivity <sup>d</sup> (Click for Plot)   | <br><a href="#">Raw Data</a> |
| Coating/Diffuser                             | Reflective<br>ND<br>(OD1.5) <sup>e</sup>  |
| Head Temperature Measurement                 | NTC Thermistor 4.7 kΩ   |
| Housing Dimensions                           | Ø30.5 mm x 12.7 mm  |
| Cable Length                                 | 1.5 m   |
| Post Mounting <sup>e,f,g</sup>               | Universal 8-32 / M4 Tap, Post Not Included  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

| Item # <sup>a</sup>       | S120VC  |
|---------------------------|---|
| Aperture Thread           | External SM1 (1.035"-40)  |
| Compatible Fiber Adapters | S120-FC, S120-SMA, S120-ST, S120-LC, and S120-SC (Not Included) |
| Compatible Consoles       | PM400, PM200, PM100D, PM100A, PM100USB, and PM320E              |



### SMC pollux

|                    |  |
|--------------------|--|
| Axes               | 1 axis, 2 phase stepper-motors   |
| Computer Interface | RS-232 19200 Baud  |
| Supply Voltage     | 24 VAC   |
| Phase Currents     | $\leq 1.2$ A/phase   |
| Limit Switches     | 2 per axis software configurable   |
| Trajectory mode    | linear interpolation   |
| Velocity range     | for 200 step motor<br>$< 0.1 \mu\text{m/s} \dots 13 \text{ rev/s}$ TYPE I<br>$< 0.1 \mu\text{m/s} \dots 25 \text{ rev/s}$ TYPE II<br>$< 0.1 \mu\text{m/s} \dots 40 \text{ rev/s}$ TYPE III |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### SMC pollux

Max. Resolution

300 000 positions/rev.

Max. linear resolut.

1 nm

Program & Param.

Flash Memory

Amplifier

48 V bipolar 2 Phase with short-circuit & temperture protection

Motor torque

16 Ncm TYPE I

Version

26 Ncm TYPE II

SMC pollux

32 Ncm TYPE III

motor & controller

100 Ncm TYPE II HT

Housing

SMC pollux Box (Desktop) HxWxD 48x56x97 mm

SMC pollux motor & controller HxWxD 48x56x117mm

19" Cassis SMC pollux integr. Box: 3HE 84TE Chassis with 90..230 VAC

Weight

0.216 kg (single axis)



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



| Motion       | L-<br>509.xxDG10         | L-<br>509.xx3111 /<br>L-509.xx3132 | L-<br>509.xx5132         | Unit | Tolerance |
|--------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|------|-----------|
| Active axes  | X                        | X                                  | X                        |      |           |
| Travel range | L-<br>509.10DG10:<br>26  | L-<br>509.023xxx:<br>26            | L-<br>509.025132:<br>26  | mm   |           |
|              |                          |                                    |                          |      |           |
|              | L-<br>509.20DG10:<br>52  | L-<br>509.033xxx:<br>52            | L-<br>509.035132:<br>52  |      |           |
|              |                          |                                    |                          |      |           |
| Pitch / yaw  | L-<br>509.40DG10:<br>102 | L-<br>509.053xxx:<br>102           | L-<br>509.055132:<br>102 | μrad | typ.      |
|              | L-<br>509.10DG10:<br>±60 | L-<br>509.023xxx:<br>±60           | L-<br>509.025132:<br>±60 |      |           |
|              |                          |                                    |                          |      |           |
|              | L-<br>509.20DG10:<br>±90 | L-<br>509.033xxx:<br>±90           | L-<br>509.035132:<br>±90 |      |           |
|              |                          |                                    |                          |      |           |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|  |                               |  |                               |             |                  |
|--|-------------------------------|--|-------------------------------|-------------|------------------|
|  | L-<br>509.40DG10:<br>±120     | L-<br>509.053xxx:<br>±120                            | L-<br>509.055132:<br>±120     |             |                  |
| Straightness /<br>flatness             | L-<br>509.10DG10: 2           | L-<br>509.023xxx: 2                                  | L-<br>509.025132: 2           | μm          | typ.             |
|  |                               |  |                               |             |                  |
|  | L-<br>509.20DG10: 4           | L-<br>509.033xxx: 4                                  | L-<br>509.035132: 4           |             |                  |
|  |                               |  |                               |             |                  |
|  | L-<br>509.40DG10: 8           | L-<br>509.053xxx: 8                                  | L-<br>509.055132: 8           |             |                  |
| Velocity                               | 3                             | 50   | 50                            | mm/s        | max.             |
| <b>Positioning</b>                     | <b>L-<br/>509.xxDG10</b>      | <b>L-<br/>509.xx3111</b>                             | <b>L-<br/>509.xxx132</b>      | <b>Unit</b> | <b>Tolerance</b> |
| Integrated<br>sensor                   | Incremental<br>rotary encoder | Incremental<br>linear encoder                        | Incremental<br>rotary encoder |             |                  |
| Sensor signal                          | A/B<br>quadrature,<br>TTL     | Sin/cos, 1 V<br>peak-peak,<br>20 μm signal<br>period | A/B<br>quadrature,<br>TTL     |             |                  |
| Design<br>resolution                   | 0.008                         | 0.005  | 0.05                          | μm          |                  |
| Sensor<br>resolution rotary<br>encoder | 4096                          | —  | 20000                         | Cts./rev.   |                  |
| Sensor<br>resolution linear<br>encoder | —                             |  | —                             | μm          |                  |
| Minimum<br>incremental<br>motion       | 0.1                           | 0.1  | 0.5                           | μm          | typ.             |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                              |   |   |         |           |      |
|------------------------------|---|---|---------|-----------|------|
| Unidirectional repeatability | 0.1   | 0.1   | 0.2     | μm        | typ. |
| Bidirectional repeatability  | ±2  | ±0.2  | ±0.5    | μm        | typ. |
| Reference and limit switches | Optical                                     | Optical                                     | Optical |           |      |
| Mechanical properties        | L-509.xxDG10                                | L-509.xx3xxx                                | Unit    | Tolerance |      |
|                              |   | L-509.xx5xxx                                |         |           |      |
|                              |   |   |         |           |      |
| Drive screw type             | Ball screw                                  | Ball screw                                  |         |           |      |
| Drive screw pitch            | 1   | 1   | mm      |           |      |
| Gear ratio                   | 2401:81                                     | —   |         |           |      |
| Guide type                   | Crossed roller guide with anti-creep system | Crossed roller guide with anti-creep system |         |           |      |
| Holding force, power off     | L-509.10DG10: 40                            | 20  | N       | typ.      |      |
|                              |   |   |         |           |      |
|                              | L-509.20DG10: 60                            |   |         |           |      |
|                              |   |   |         |           |      |





## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|  |                                |                     |                                |             |                  |
|--|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------|------------------|
|  | L-509.40DG10: 60               |                     |                                |             |                  |
| Push/pull force<br>Fx, power on        | 60                             | 60                  | N                              | max.        |                  |
| Permissible<br>lateral force           | 50                             | 50                  | N                              | max.        |                  |
| Load capacity                          | 100                            | 100                 | N                              | max.        |                  |
| Permissible<br>torque Mx in $\theta_X$ | 30                             | 30                  | N·m                            | max.        |                  |
| Permissible<br>torque My in $\theta_Y$ | 25                             | 25                  | N·m                            | max.        |                  |
| Permissible<br>torque Mz in $\theta_Z$ | 20                             | 20                  | N·m                            | max.        |                  |
| <b>Drive<br/>properties</b>            | <b>L-509.xxDG10</b>            | <b>L-509.xx3xxx</b> | <b>L-509.xx5xxx</b>            | <b>Unit</b> | <b>Tolerance</b> |
| Motor type                             | DC motor<br>(with<br>gearhead) | DC motor            | Brushless DC<br>motor, 3-phase |             |                  |
| Operating<br>voltage, nominal          | 24                             | 24                  | 24                             | V           | nom.             |
| Operating<br>voltage, max.             | 48                             | 48                  | 48                             | V           | max.             |
| <b>Miscellaneous</b>                   | <b>L-509.xxDG10</b>            | <b>L-509.xx3xxx</b> | <b>L-509.xx5132</b>            | <b>Unit</b> | <b>Tolerance</b> |
| Operating<br>temperature<br>range      | 5 to 40                        | 5 to 40             | 5 to 40                        | °C          |                  |
| Material                               | Aluminum,<br>steel             | Aluminum,<br>steel  | Aluminum,<br>steel             |             |                  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----|------|
| Mass                               | L-509.10DG10:<br>1.4                  | L-509.023xxx:<br>1.2           | L-509.025132:<br>1.4                  | kg | ±5 % |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    | L-509.20DG10:<br>1.6                  | L-509.033xxx:<br>1.3           | L-509.035132:<br>1.5                  |    |      |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    | L-509.40DG10:<br>1.9                  | L-509.053xxx:<br>1.5           | L-509.055132:<br>1.7                  |    |      |
| Moved mass,<br>unloaded            | 0.22                                  | L-509.023111:<br>0.24          | 0.22                                  | kg | ±5 % |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    |                                       | L-509.033111:<br>0.24          |                                       |    |      |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    |                                       | L-509.053111:<br>0.25          |                                       |    |      |
| Connection                         | 1 × HD Sub-D 26 (m)<br>(motor/sensor) | 1 × HD Sub-D 26 (m)<br>(motor) | 1 × HD Sub-D 26 (m)<br>(motor/sensor) |    |      |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    |                                       | L-509.xx3111<br>additional:    |                                       |    |      |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |
|                                    |                                       | 1 × Sub-D 9<br>(m) (sensor)    |                                       |    |      |
| Recommended<br>controllers/drivers | C-863 (single<br>axis)                | C-863<br>(single axis)         | C-891 (single<br>axis)                |    |      |
|                                    |                                       |                                |                                       |    |      |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|               |                                      |                                      |   |                  |  |
|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------|--|
|               | C-884 (up to 6 axes)                 | C-884 (up to 6 axes)                 | C-885 with C-891.10C885 (up to 20 axes) |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
|               | C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes) | C-885 with C-863.20C885 (to 40 axes) | ACS modular controller                  |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
|               | ACS modular controller               | ACS modular controller               |   |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
| <b>Motion</b> | <b>L-509.xxADxx</b>                  | <b>L-509.xxSD00 / L-509.xASD00</b>   | <b>Unit</b>                             | <b>Tolerance</b> |  |
| Active axes   | X                                    | X                                    |   |                  |  |
| Travel range  | L-509.1xADxx: 26                     | L-509.1xSDxx: 26                     | mm                                      |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
|               | L-509.2xADxx: 52                     | L-509.2xSDxx: 52                     |   |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
| Pitch / yaw   | L-509.4xADxx: 102                    | L-509.4xSDxx: 102                    | μrad                                    | typ.             |  |
|               | L-509.1xADxx: ±60                    | L-509.1xSDxx: ±60                    |   |                  |  |
|               |                                      |                                      |   |                  |  |
|               | L-509.2xADxx: ±90                    | L-509.2xSDxx: ±90                    |   |                  |  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                            |  |                           |  |             |                  |
|----------------------------|--|---------------------------|--|-------------|------------------|
|                            | L-<br>509.4xADxx:<br>±120                          | L-<br>509.4xSDxx:<br>±120 |  |             |                  |
| Straightness /<br>flatness | L-<br>509.1xADxx: 2                                | L-<br>509.1xSDxx: 2       | μm   | typ.        |                  |
|                            |  |                           |  |             |                  |
|                            | L-<br>509.2xADxx: 4                                | L-<br>509.2xSDxx: 4       |  |             |                  |
|                            |  |                           |  |             |                  |
|                            | L-<br>509.4xADxx: 8                                | L-<br>509.4xSDxx: 8       |  |             |                  |
| Velocity                   | 50   | 20                        | mm/s   | max.        |                  |
| <b>Positioning</b>         | <b>L-<br/>509.xxADxx</b>                           | <b>L-<br/>509.xxSD00</b>  | <b>L-<br/>509.xASD00</b>                             | <b>Unit</b> | <b>Tolerance</b> |
| Integrated<br>sensor       | L-<br>509.xxAD10:<br>Incremental<br>rotary encoder | —                         | Incremental<br>linear encoder                        |             |                  |
|                            | L-<br>509.xxAD00:<br>Incremental<br>linear encoder |                           |  |             |                  |
| Sensor signal              | A/B<br>quadrature,<br>TTL                          | —                         | Sin/cos, 1 V<br>peak-peak,<br>20 μm signal<br>period |             |                  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                                  |                         |         |           |                 |      |
|----------------------------------|-------------------------|---------|-----------|-----------------|------|
| Design resolution                | L-509.xxAD10: 0.061     | 5       | 0.005     | $\mu\text{m}$   |      |
|                                  |                         |         |           |                 |      |
|                                  | L-509.xxAD00: 0.05      |         |           |                 |      |
| Sensor resolution rotary encoder | L-509.xxAD10: 16384     | –       | –         | Cts./rev.       |      |
| Sensor resolution linear encoder | L-509.xxAD00: 0.05      | –       | 0.005     | $\mu\text{m}$   |      |
| Resolution stepper motor         | –                       | 200     | 200       | Full steps/rev. |      |
| Minimum incremental motion       | L-509.xxAD10: 0.8       | 0.1     | 0.02      | $\mu\text{m}$   | typ. |
|                                  |                         |         |           |                 |      |
|                                  | L-509.xxAD00: 0.2       |         |           |                 |      |
| Unidirectional repeatability     | L-509.xxAD10: 0.2       | 0.3     | 0.1       | $\mu\text{m}$   | typ. |
|                                  |                         |         |           |                 |      |
|                                  | L-509.xxAD00: 0.1       |         |           |                 |      |
| Bidirectional repeatability      | L-509.xxAD10: $\pm 0.5$ | $\pm 1$ | $\pm 0.2$ | $\mu\text{m}$   | typ. |
|                                  |                         |         |           |                 |      |
|                                  | L-509.14AD00: $\pm 0.3$ |         |           |                 |      |
|                                  |                         |         |           |                 |      |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                                 |  |         |           |  |  |
|---------------------------------|--|---------|-----------|--|--|
|                                 | L-<br>509.24AD00:<br>±0.2                            |         |           |  |  |
|                                 |  |         |           |  |  |
|                                 | L-<br>509.44AD00:<br>±0.2                            |         |           |  |  |
| Reference and<br>limit switches | Optical  | Optical | Optical   |  |  |
| Mechanical<br>properties        | L-<br>509.xxADxx /<br>L-509.xxSD00 /<br>L-509.xASD00 | Unit    | Tolerance |  |  |
| Drive screw<br>type             | Ball screw   |         |           |  |  |
| Drive screw<br>pitch            | 1  | mm      |           |  |  |
| Guide type                      | Crossed<br>roller guide<br>with anti-creep<br>system |         |           |  |  |
| Holding force,<br>power off     | L-<br>509.xxADxx: 20                                 | N       | typ.      |  |  |
|                                 |  |         |           |  |  |
|                                 | L-<br>509.xxSD00 /<br>L-509.xASD00:<br>60            |         |           |  |  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|  |                                  |   |                          |                  |                  |
|--|----------------------------------|---|--------------------------|------------------|------------------|
| Push/pull force<br>Fx, power on        | 60                               | N   | max.                     |                  |                  |
| Permissible<br>lateral force           | 50                               | N   | max.                     |                  |                  |
| Load capacity                          | 100                              | N   | max.                     |                  |                  |
| Permissible<br>torque Mx in $\theta_X$ | 30                               | N·m   | max.                     |                  |                  |
| Permissible<br>torque My in $\theta_Y$ | 25                               | N·m   | max.                     |                  |                  |
| Permissible<br>torque Mz in $\theta_Z$ | 20                               | N·m   | max.                     |                  |                  |
| <b>Drive<br/>properties</b>            | <b>L-<br/>509.xxADxx</b>         | <b>L-<br/>509.xxSD00 /<br/>L-509.xASD00</b> | <b>Unit</b>              | <b>Tolerance</b> |                  |
| Motor type                             | ActiveDrive<br>DC motor<br>(PWM) | Stepper<br>motor, 2-<br>phase               |                          |                  |                  |
| Operating<br>voltage, nominal          | 24                               | 24  | V                        | nom.             |                  |
| Operating<br>voltage, max.             | 24                               | 48  | V                        | max.             |                  |
| <b>Miscellaneous</b>                   | <b>L-<br/>509.xxADxx</b>         | <b>L-<br/>509.xxSD00</b>                    | <b>L-<br/>509.xASD00</b> | <b>Unit</b>      | <b>Tolerance</b> |
| Operating<br>temperature<br>range      | 5 to 40                          | 5 to 40                                     | 5 to 40                  | °C               |                  |
| Material                               | Aluminum,<br>steel               | Aluminum,<br>steel                          | Aluminum,<br>steel       |                  |                  |



## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

|                         |                           |                          |                           |    |      |
|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----|------|
| Mass                    | L-<br>509.10AD10:<br>1.4  | L-<br>509.10SD00:<br>1.4 | L-<br>509.1ASD00:<br>1.5  | kg | ±5 % |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.20AD10:<br>1.5  | L-<br>509.20SD00:<br>1.5 | L-<br>509.2ASD00:<br>1.6  |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.40AD10:<br>1.7  | L-<br>509.40SD00:<br>1.7 | L-<br>509.4ASD00:<br>1.8  |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.14AD00:<br>1.4  |                          |                           |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
| Moved mass,<br>unloaded | L-<br>509.24AD00:<br>1.6  |                          |                           | kg | ±5 % |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.44AD00:<br>1.8  |                          |                           |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.x0AD10:<br>0.22 | 0.22                     | L-<br>509.1ASD00:<br>0.24 |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.14AD00:<br>0.24 |                          | L-<br>509.2ASD00:<br>0.24 |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.24AD00:<br>0.24 |                          | L-<br>509.4ASD00:<br>0.25 |    |      |
|                         |                           |                          |                           |    |      |
|                         | L-<br>509.44AD00:<br>0.25 |                          |                           |    |      |





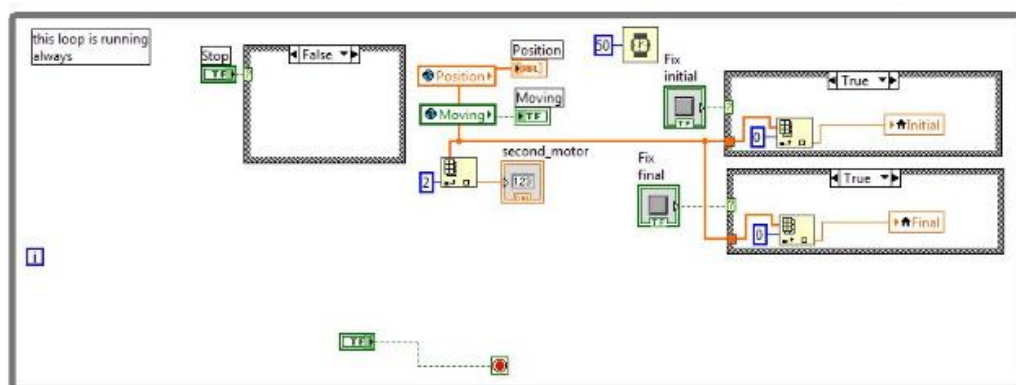
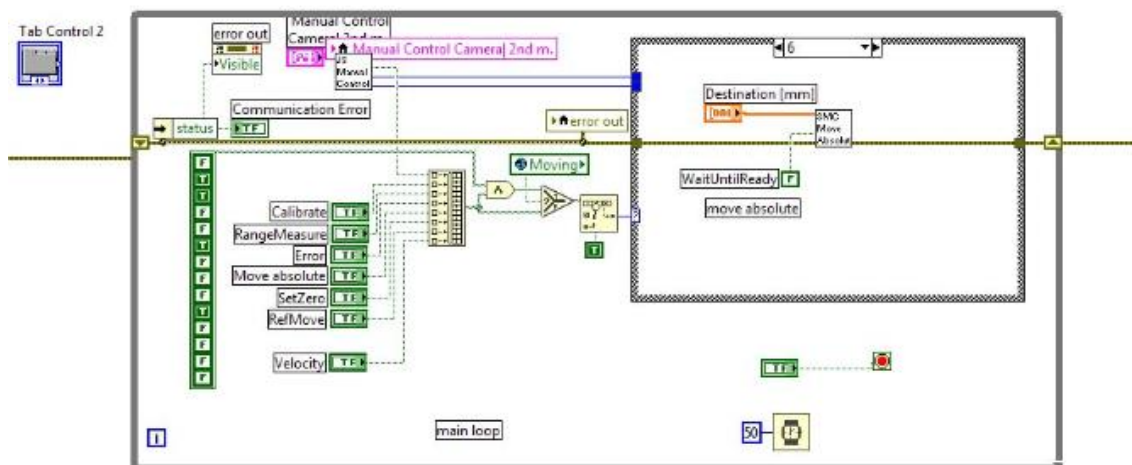
## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

| Connection                         | 1 × Sub-D 15<br>(m)<br>(motor/sensor)      | 1 × HD Sub-D 26 (m)<br>(motor)                   | 1 × HD Sub-D 26 (m)<br>(motor)                |  |  |
|------------------------------------|--|--|---|--|--|
|                                    |  |  |   |  |  |
|                                    |  |  | 1 × Sub-D 9<br>(m) (sensor)                   |  |  |
| Recommended<br>controllers/drivers | C-863 (single<br>axis)                     | C-663.12<br>(single axis)                        | C-663.12<br>(single axis)                     |  |  |
|                                    |  |  |   |  |  |
|                                    | C-884 (up to<br>6 axes)                    | SMC Hydra<br>(double axis)                       | SMC Hydra<br>(double axis)                    |  |  |
|                                    |  |  |   |  |  |
|                                    | C-885 with<br>C-863.20C885<br>(to 40 axes) | C-885 with<br>C-663.12C885<br>(up to 20<br>axes) | C-885 with<br>C-663.12C885<br>(up to 20 axes) |  |  |
|                                    |  |  |   |  |  |
|                                    | ACS modular<br>controller                  | ACS<br>modular<br>controller                     | ACS modular<br>controller                     |  |  |



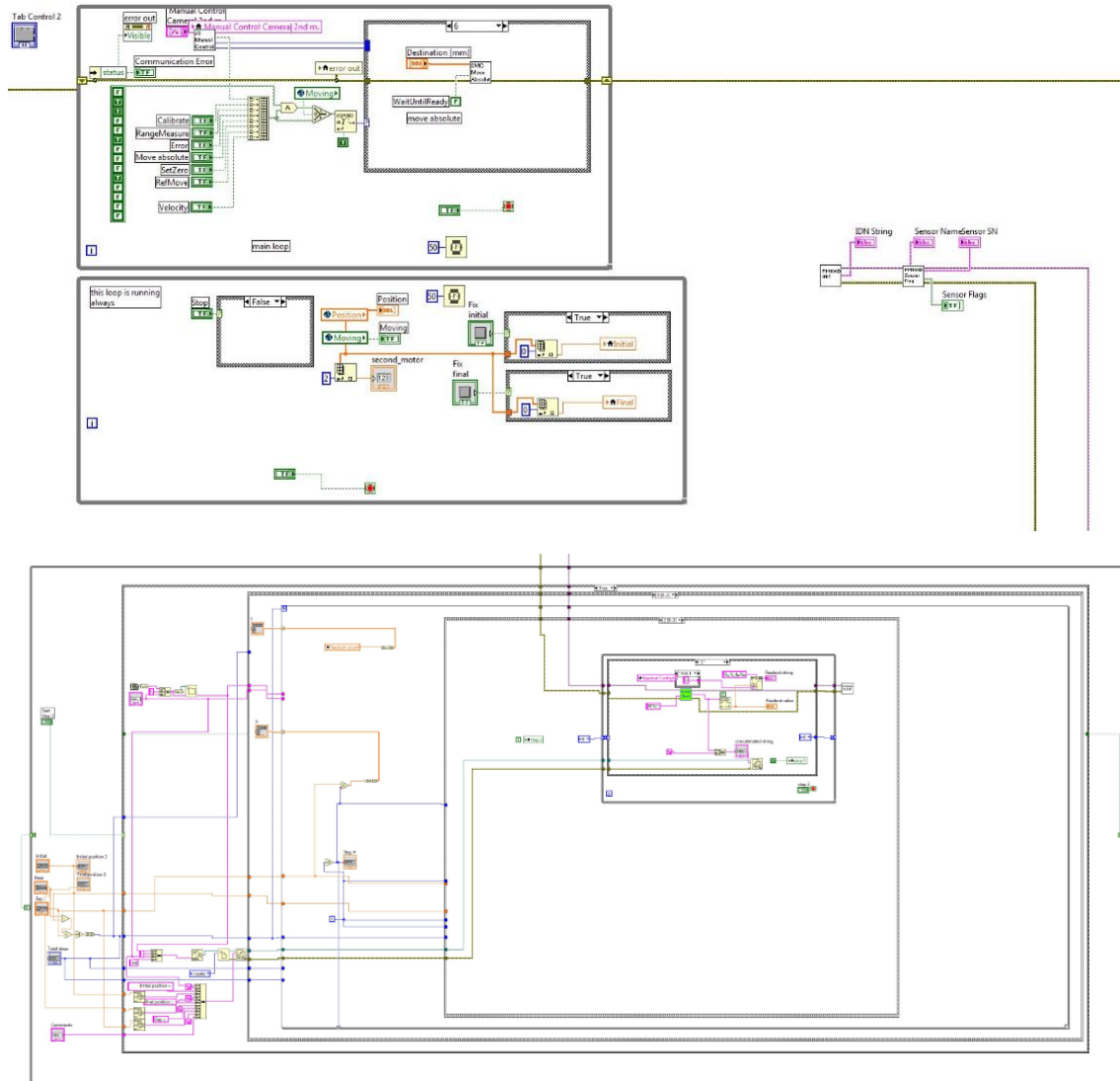
## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia

### 4. Código Labview



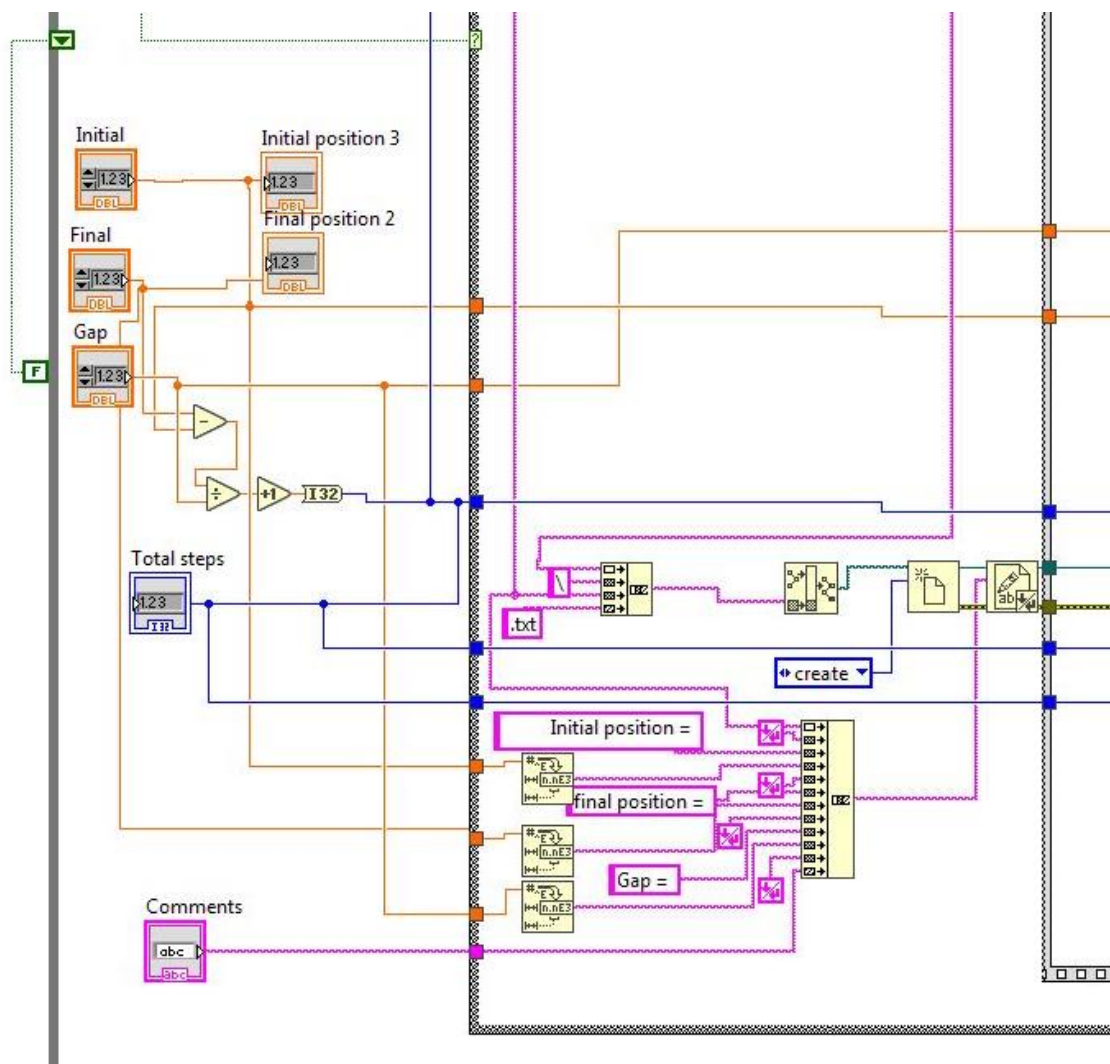


## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



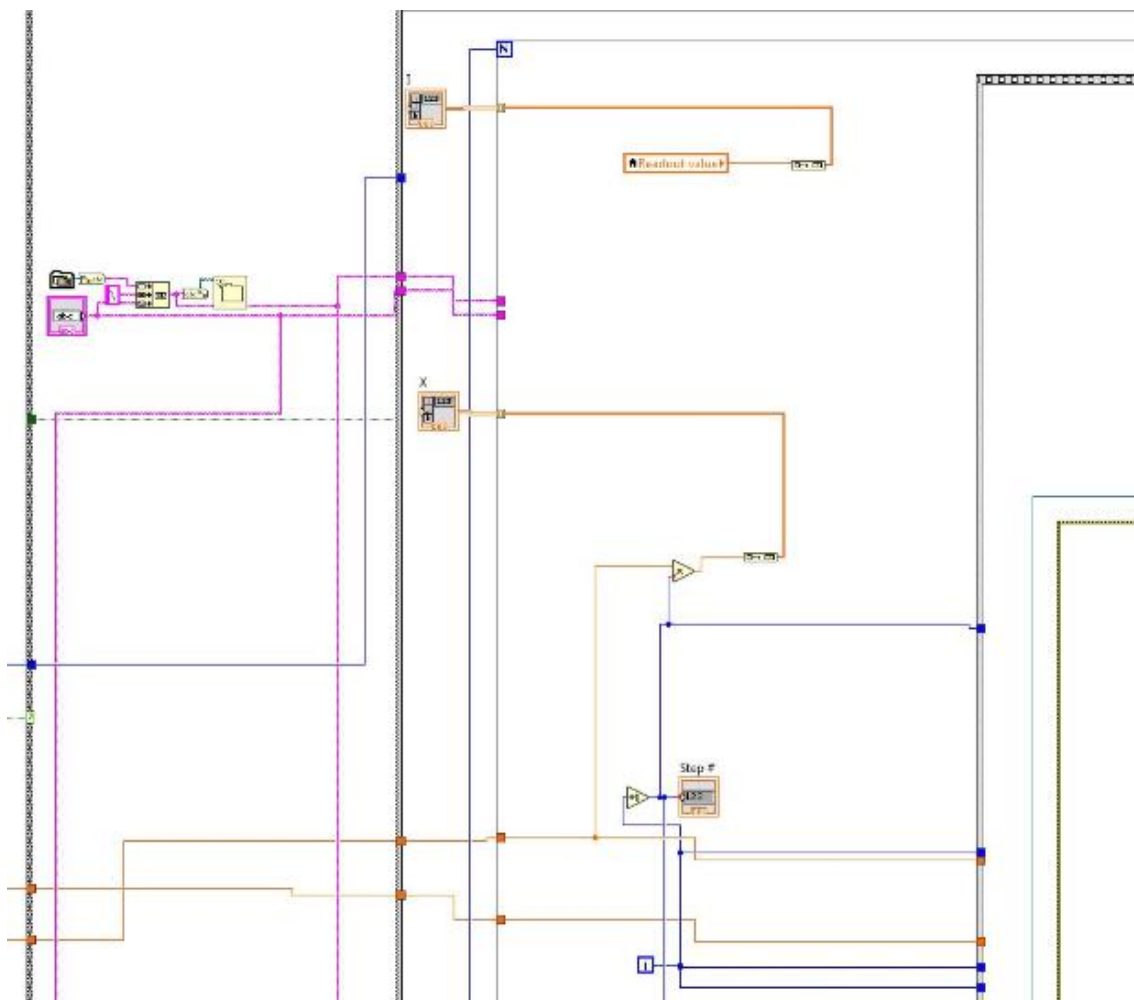


## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



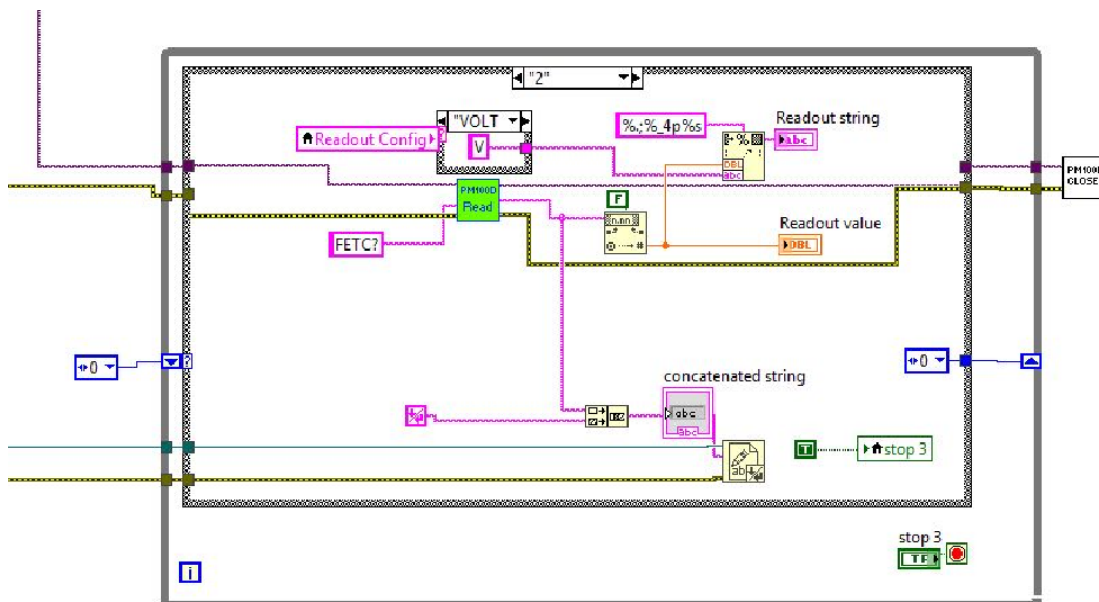


## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



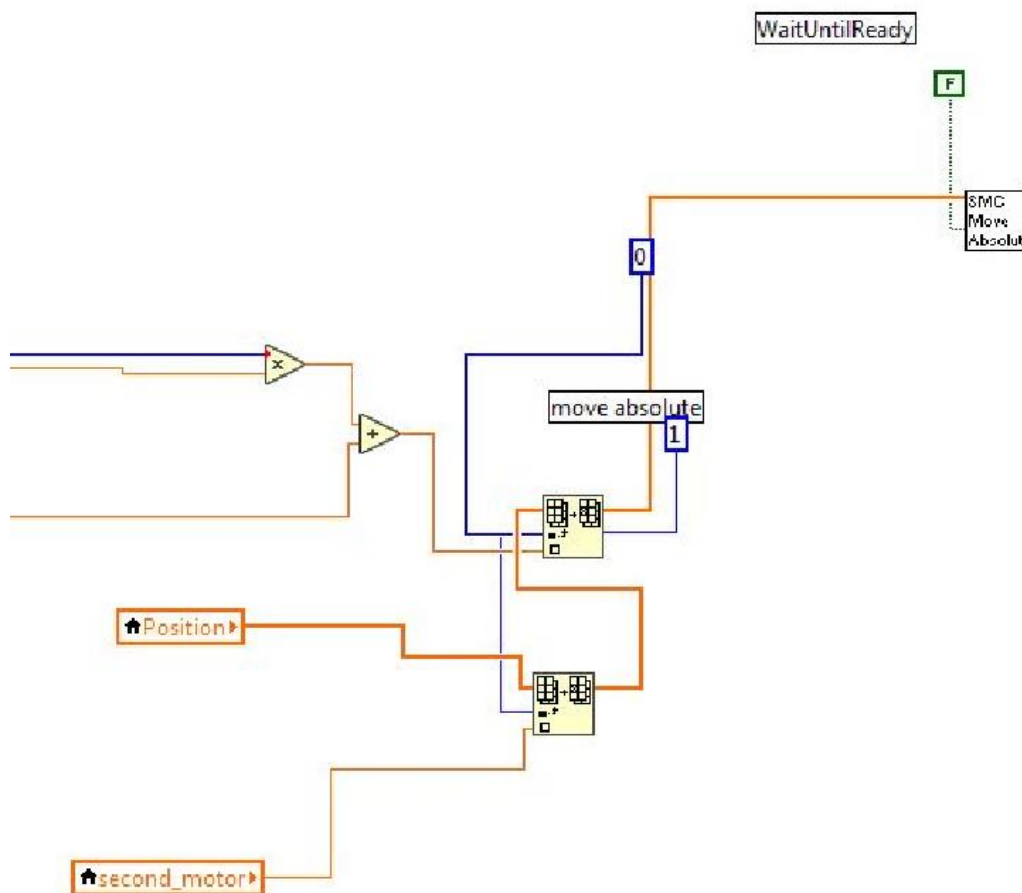


## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia





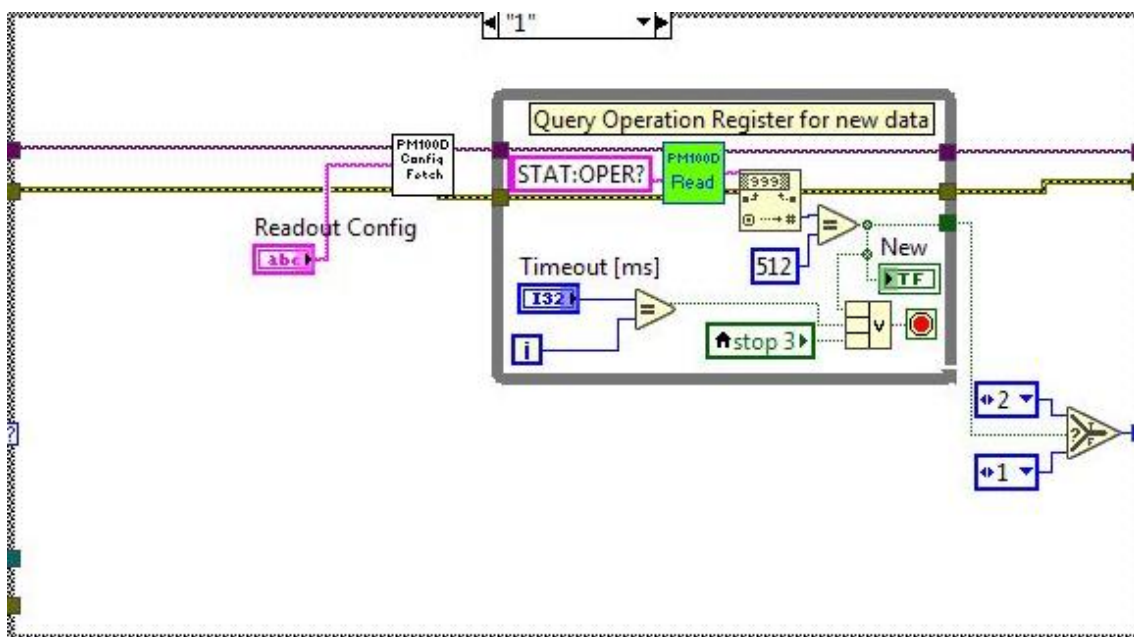
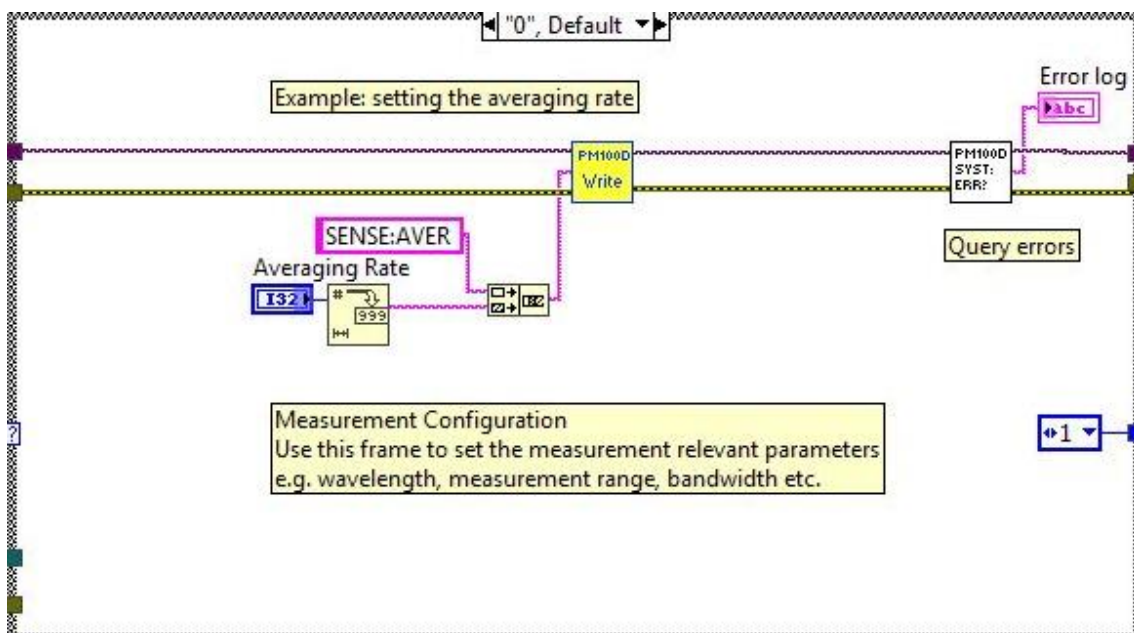
## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia







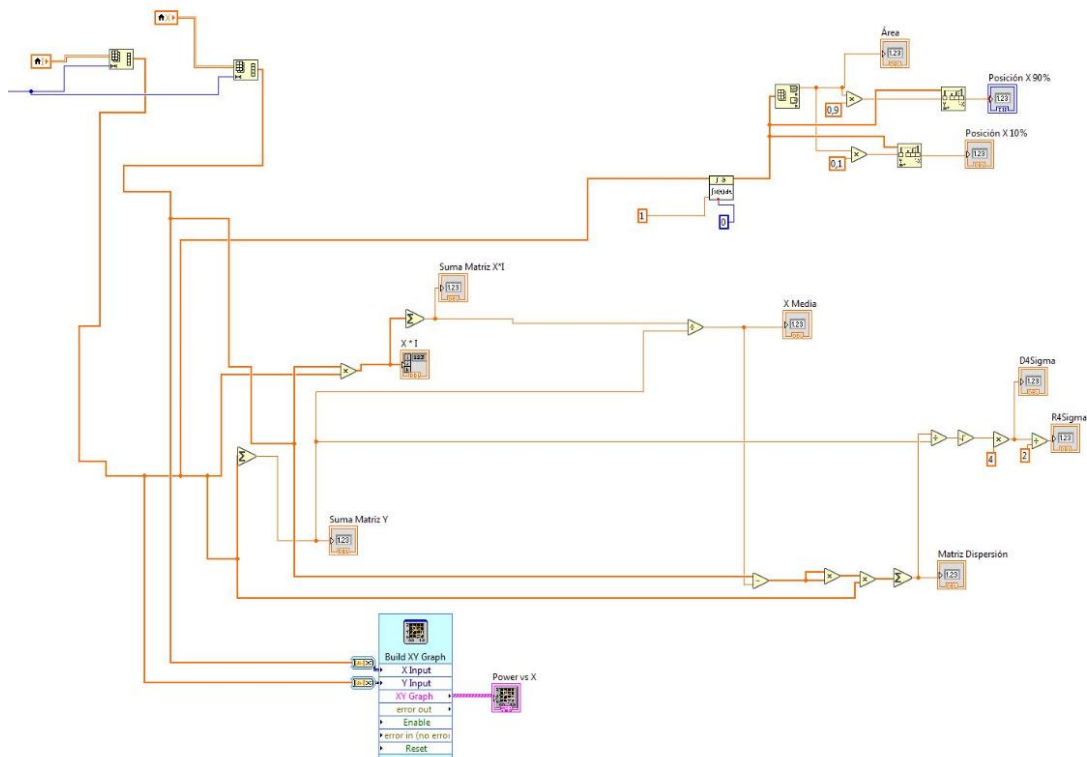
## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia







## Estudio de la reconstrucción del perfil espacial del haz en láseres de diodos de alta potencia



NOM DE L'ESTUDIANT :

DATA :

TITULACIÓ : GRETI GRETA GREVA

CONVOCATÒRIA :

| <b>PARÀMETRE A VERIFICAR:</b><br><b>ASPECTES FORMALS</b><br><b>CONTINENT</b> | <b>RESULTAT</b> |   |   |                   |
|--|-----------------|---|---|-------------------|
|  | 1               | 2 | 3 | <b>COMENTARIS</b> |
| A1 - Formats portades  |                 |   |   |                   |
| A2 - Sumari de continguts  |                 |   |   |                   |
| A3 - Sumari de taules i figures  |                 |   |   |                   |
| A4 – Ortografia / Unitats  |                 |   |   |                   |
| A5 – Taules / Gràfics  |                 |   |   |                   |
| A6 – Formats dels documents  |                 |   |   |                   |
| A7 – Extensió de la memòria  |                 |   |   |                   |
| A8 - Bibliografia  |                 |   |   |                   |
| A9 - Relació de documents  |                 |   |   |                   |
| <b>PARÀMETRE A VERIFICAR:</b><br><b>ASPECTES FORMALS</b><br><b>CONTINGUT</b> | <b>RESULTAT</b> |   |   |                   |
|  | 1               | 2 | 3 | <b>COMENTARIS</b> |
| B1 – Plantejament problema   |                 |   |   |                   |
| B2 – Antecedents i estat de l'art  |                 |   |   |                   |
| B3 – Plantejament i justificació solucions                                   |                 |   |   |                   |
| B4 – Acompliment abast i especificacions                                     |                 |   |   |                   |
| B5 – Aspectes econòmics, ambientals i seguretat                              |                 |   |   |                   |
| B6 – Aspectes temporals  |                 |   |   |                   |
| B7 – Conclusions i recomanacions   |                 |   |   |                   |

1.- DEFICIÈNCIES GREUS / 2.-DEFICIÈNCIES MENORS / 3.- NO S'HAN IDENTIFICAT DEFICIÈNCIES

ACLARIMENTS ADDICIONALS : INFORME FAVORABLE / NO FAVORABLE

## 1. AUTOINFORME DE QUALITAT FORMAL

### 1.1. Aspectes formals - Continent

- A1. Formats adequats de les portades dels documents (**han d'incloure la data/convocatòria, el logo i el nom de l'Escola, el títol del treball, el nom dels estudis, el nom de l'estudiant/a i el nom del director/a del treball**).
- A2. Sumari de continguts correctament desenvolupat:

#### *INTRODUCCIÓ*

- Objecte del TFG.
- Abast del TFG.
- Requeriments del TFG (especificacions bàsiques).
- Justificació de la utilitat / necessitat / oportunitat del TFG.

#### *DESENVOLUPAMENT*

- Antecedents, revisió de l'estat de l'art, si s'escau.
- Plantejament i decisió sobre les possibles solucions.
- Desenvolupament de la o les solucions escollides.

#### *RESUM DE RESULTATS*

- Resum de pressupost o estudi de viabilitat econòmica.
- Anàlisi i valoració de les implicacions ambientals.
- Planificació i programació de la fase següent.
- Conclusions i recomanacions de continuïtat.
- Bibliografia i normativa considerada.

- A3. Existència de sumari de taules i figures del treball.
- A4. Absència de faltes d'ortografia al document i ús adequat de les unitats del Sistema Internacional.
- A5. Taules amb un nombre de decimals significatiu i gràfics ben identificats i amb eixos clarament definits.
- A6. Formats de títols, text, justificacions i interlineats coherents al llarg dels documents.
- A7. Extensió de la memòria adequada (70 pàgines approx).
- A8. Bibliografia i referències ben documentades, i *citades totes correctament* en el treball.
- A9. Relació de documents del treball adequats segons la tipologia de projecte o estudi:
  - Memòria i Annexes (sempre).
  - Pressupost (sempre).
  - Plànols (a projecte; a estudi si s'escau).
  - Plec de condicions (a projecte).

## 1.2. Aspectes formals – Contingut

- B1. Adequat plantejament del problema (a l'objecte i la justificació) i adequat plantejament de la seva solució (a l'abast i les especificacions):
  - Objecte : Resultat final que es vol aconseguir.
  - Justificació de la necessitat / Justificació de la utilitat: Plantejament del problema des d'una visió global i aproximant-lo a una visió específica.
  - Abast: Desenvolupament de les activitats per arribar a la solució.
  - Especificacions bàsiques o requeriments bàsics: Restriccions sobre la solució proposada.
- B2. Desenvolupament dels antecedents i de l'estat de l'art.
- B3. Plantejament de les solucions possibles i alternatives, i justificació de la solució proposada.
- B4. Desenvolupament de la solució proposada fins el nivell de profunditat marcat a l'abast i justificació de l'acompliment de les especificacions o requeriments definits a l'inici.
- B5. Desenvolupament dels aspectes econòmics, ambientals i de seguretat del treball (si s'escau).
- B6. Desenvolupament dels aspectes temporals del projecte (planificació de tasques i programació temporal del desenvolupament futur del treball).
- B7. Desenvolupament de les conclusions (*en coherència amb l'objecte i l'abast inicials*) i recomanacions del treball (*en referència a futures activitats relacionades*).

Aquest autoinforme **no té com a objectiu la avaluació específica dels continguts** dels documents de TFG doncs aquesta avaluació la durà a terme el tribunal que es designi per a aquesta tasca. Per tant, les **indicacions que aquí es donen** només fan referència a la **millora dels aspectes formals** dels documents que seran avaluats, a la **coherència existent entre el que es descriu que es farà al plantejament del TFG i el que s'explica** en el desenvolupament del TFG, així com a la **presència dels capítols referents a l'anàlisi de les implicacions econòmiques, ambientals, temporals i de seguretat** del treball desenvolupat.

### NOTA MOLT IMPORTANT:

AQUEST AUTO-INFORME SERÀ CONSIDERAT COM **FAVORABLE** SI NO S'INDIQUEN DEFICIÈNCIES GREUS A CAP DELS ASPECTES DE CONTINGUT I EL NOMBRE DE DEFICIÈNCIES GREUS ALS ASPECTES DE CONTINGUT ÉS INFERIOR O IGUAL A TRES.

Cap d'Estudis ETSEIAT, 1 d'Octubre de 2015